

el aire y se escurre al suelo. Este es un hecho que se confirma por medio de todos los experimentos eléctricos. No pudiéndose impedir esta pérdida debemos procurar hacerla mas lenta, mas regular y mas medida: sin esto toda comparacion entre las fuerzas seria imposible porque cada instante serian variables y cambiarian irregularmente segun leyes no conocidas.

*La pérdida por los pies aislantes* se hace en parte al través de su substancia y en parte por su capa delgada de humedades que están muy á menudo cubiertos. Esta última causa es muy influente para el vidrio y la seda que absorven el vapor de agua con grande avidéz. Este es el motivo porque es necesario cubrir la superficie de estos cuerpos de una capa de goma laca sea sumergiéndoles en esta goma fundida, sea cubriéndoles de un barniz de esta substancia: con esta precaucion los sustentáculos de vidrio y de seda y los de goma laca pura aislan á poca diferencia en el mismo grado: parece tambien segun los experimentos de Coulomb que pueden aislar completamente las débiles cargas eléctricas cuando tienen una longitud de 15 á 20 pulgadas si se tiene el cuidado de calentarles antes del experimento para vaporizar el agua que se pega en ellos. Con todo supuesto que no aislan completamente sino bajo la condicion de tener una grande longitud, es evidente que se impregnan siempre de una pequeña cantidad de electricidad y se concibe asi que una carga mas fuerte reaccionando sobre sí misma con mas energía repele al fluido hasta al extremo del pie y le obliga á pasar al suelo por un flujo lento y continuo. Se conoce que un cuerpo está perfectamente aislado cuando sosteniéndole por muchos sustentáculos experimenta la misma pérdida que si estuviese sostenido por uno solo, y entonces está uno bien seguro de que la pérdida que experimenta se debe al contacto del aire.

*La pérdida por el aire* es debida en gran parte al vapor de agua que se halla siempre mas ó menos abundante en la atmósfera, porque éste aumenta á medida que el higrómetro marcha á la humedad: el hecho es tan admirable que, por ejemplo, si se sopla contra un tubo electrizado ó contra una varilla de resina no queda señal de su electricidad; sucede lo mismo cuando se sopla sobre un cuerpo conductor aislado, pero en este caso es menester no soplar de muy cerca para no recibir la conmocion. La electricidad que marcha asi por el vapor de agua, se difunde de un cuerpo á otro inmediato por la atmósfera que le rodea, y es probable que la trasmision no se hace sin que las moléculas de vapor experimenten una grande agitacion. Toda la pér-



dida de electricidad que sucede en el aire no es del todo debida á la presencia del vapor: el aire mas completamente secado por medio del muriato de cal, por el ácido sulfúrico ó por otros cuerpos absorbentes deja tambien escapar con el tiempo una cierta proporcion de fluido eléctrico de los cuerpos que rodea. Se puede hacer el experimento en la balanza de Coulomb despues de haber secado el aire que contiene, y despues de haber electrizado la esfera de la aguja y la esfera fija. Supongamos, por ejemplo, que estas dos esferas estén mantenidas á  $20^\circ$  de distancia por una torsion de  $25^\circ$  del micrómetro superior, la fuerza que hace equilibrio á la repulsion eléctrica es entonces de  $250 + 20 = 270^\circ$ , con el tiempo se verá que las dos esferas se aproximan y despues de un minuto será menester destorcer el micrómetro superior de  $6^\circ$  por ejemplo, para volverle á la distancia primitiva de  $20^\circ$ . Asi en un minuto la *fuerza eléctrica perdida* será la que hace equilibrio á  $6^\circ$  de torsion, y si se quiere tener su relacion con la *fuerza eléctrica media* que se verifica durante este minuto, bastará notar que en el principio esta fuerza era  $270^\circ$ ; la que al fin era  $244 + 20 = 264$ , por lo que la media es  $\frac{270 + 264}{2} = 267$ , de quere-

sulta en fin que la pérdida ha sido durante un minuto  $\frac{6}{267} = \frac{1}{44,5}$ ,

es decir un cuadragésimo cuarto á poca diferencia de la fuerza media. De este modo Coulomb llegó á valuar exactamente la pérdida por el aire: en los dias secos se halla á menudo que para un minuto no es mas que  $\frac{1}{60}$  ó bien  $\frac{1}{70}$  de la fuerza media; pero en los tiempos un poco húmedos es alguna vez de  $\frac{1}{20}$ : en este caso es casi imposible el practicar experimentos exactos. Cuando hay pocas variaciones atmosféricas sea en el calor, sea en la direccion del viento la pérdida por el aire, queda sensiblemente la misma en el curso de un dia, y se puede fácilmente comparar la pérdida que ha sucedido en la balanza á la que ha sucedido fuera en un cuerpo conductor electrizado: para esto se toca el cuerpo con una esfera aislada ó con un plano de prueba que se lleva inmediatamente á la balanza; se pone en contacto con la esfera de la aguja y se observa la repulsion: despues al haber pasado algunos minutos se repite el mismo experimento teniendo buencuidado de volver al estado natural el plano de prueba y la esfera móvil, y entonces se observa una repulsion menor lo que es una señal cierta de que en el segundo contacto el cuerpo tenia menor electricidad pues que ha dado menos al plano de prueba. Ademas admi-



tiendo como se verá despues que un cuerpo dá al plano de prueba que le toca *en el mismo punto* y de *la misma manera* cantidades de electricidad proporcionales á las que posee, se vé que las cargas eléctricas del cuerpo en las dos épocas del contacto serán proporcionales á las fuerzas de torsion, y que asi será fácil determinar la pérdida que ha experimentado en el intervalo. Estos medios de comparar las fuerzas eléctricas y de calcular lo que deben ser en cada instante cuando se sabe en una dada época, es una de las mas bellas invenciones que se hayan hecho en electricidad: por aqui es por donde Coulomb ha podido establecer sobre bases ciertas los principios fundamentales de la ciencia.

203. *Distribucion de la electricidad en los cuerpos conductores.* — La electricidad natural está uniformemente esparcida en toda la masa de un cuerpo conductor, y parece acumulada en él en cantidad indefinida como el calor y el magnetismo, pero desde que un fluido es libre ó separado del otro reacciona sobre sí mismo por su fuerza repulsiva y todas sus moléculas tienden sin cesar á disiparse hasta que hallen un obstáculo que las detenga. Un cuerpo que fuese perfectamente conductor no ofreceria en toda su masa resistencia alguna á esta dispersion, y el fluido llegado rápidamente á su superficie saldria para difundirse mas lejos si encontrase aun un espacio permeable. El vacio, dejando pasar la electricidad, si un cuerpo electrizado estuviese colocado en medio de él, perderia al instante todo su fluido libre. Asi la tierra es probablemente entre los planetas la sola que pueda ser electrizada en su superficie por ser ella la sola que parezca tener una atmósfera en su superficie. Se verá que los mismos metales no tienen una conductibilidad perfecta; con todo el fluido eléctrico pasa con una tal rapidez de un punto á otro de su masa que podemos á lo menos para el momento suponer que la electricidad de que están cargados no ha de vencer resistencia alguna para moverse entre su substancia. Resulta de esta hipótesis que la electricidad libre desarrollada en un punto cualquiera de un conductor metálico viene siempre á su superficie en donde se halla detenida por el aire que le rodea. Pero ¿cómo se arregla en la masa entera del conductor? ¿Es menester para el equilibrio que se difunda uniformemente como el aire se difunde en un globo? ¿ó bien es necesario que sus moléculas obedeciendo á su fuerza repulsiva vengán á acumularse ó á comprimirse contra el aire que rodea su superficie ó contra los cuerpos no conductores que le cubren?



Ved aquí tres experimentos que pueden dar alguna luz sobre este punto fundamental de la teoría.

1.º Un globo aislado representado, figura 300, está cubierto de dos hemisferios en papel metálico, que se puede poner ó quitar á voluntad por medio de dos mangos de vidrio *v v'*: en este estado se electrizan, despues se quitan rápidamente los hemisferios y el globo así desnudo de su cubierta está tambien despojado completamente de su electricidad. Por lo que el fluido es llevado á la superficie y se acumula en ella de tal modo que nada queda en el interior.

2.º Una esfera de 7 ú 8 pulgadas de diámetro que tenga una pequeña cavidad de 8 ó 10 líneas de latitud, y una pulgada de profundidad está aislada y cargada de electricidad, cuando se viene á tocarla con el plano de prueba en su superficie se toma fluido de ella; pero cuando se toca en el fondo de la cavidad el plano de prueba queda sensiblemente en el estado natural.

3.º En fin dos esferas conductoras del mismo radio se electrizan juntas, y se separan en seguida. Se viene á tocarla una de ellas con una esfera llena de metal, y la otra con una esfera del mismo radio que la precedente pero hecha de brisco ó de papel dorado, ó simplemente encolando hojas de estaño ó de oro batido sobre un globo de resina. Despues del contacto se ensaya con el plano de prueba, y la balanza, las fuerzas eléctricas de las dos primeras esferas, y se las halla exactamente iguales: luego la esfera llena de metal no se ha amparado de mas electricidad de la primera que la esfera *superficial* de la segunda; lo que es una prueba evidente de que la electricidad libre no reside jamás en el interior de los cuerpos sino que está en la superficie, y aun que no ocupa sino un espesor insensible: porque si la capa de fluido eléctrico fuese mas espesa que una hoja de oro batido, la esfera superficial no tomaria tanto como la esfera llena.

Estas pruebas experimentales están aun confirmadas por una prueba matemática; porque este arreglo del fluido eléctrico en su estado de equilibrio es una consecuencia rigorosa de la repulsion que obra sobre estas moléculas en razon inversa del cuadrado de la distancia.

De que el fluido eléctrico repelido por sí mismo forme en la superficie de los cuerpos un espesor menor que el de una hoja de oro batido, no es menester deducir que este espesor sea insensible ni que por nada entre en los fenómenos. Las dimensiones que se escapan de nuestros modos directos de medir por nuestros sentidos, no son por esto menos comparables entre sí, y los espesores infinitamente pequeños



de las capas eléctricas pueden ser décuplas y céntuplas la una de la otra, como los espesores que se cuentan por toesas ó por medideras. Siendo todo simétrico al rededor del centro de un globo conductor electrizado (fig. 298) es evidente que la capa eléctrica debe tener por todas partes el mismo espesor; así pues está comprendida entre la superficie  $ee'$  del globo en donde está detenida contra el aire, y otra superficie también esférica  $ii'$  que pasa por *debajo*, ó *dentro* de la primera de una cantidad infinitamente pequeña: esta superficie *interior* de la capa eléctrica es su superficie libre. Parece desde luego que una molécula de fluido tal como  $m$  no puede estar en equilibrio en este estado, pero concibiendo el plano  $pmp'$  se verá que si todo el fluido que se halla encima tiende por su repulsion á precipitar la molécula  $m$  hácia al centro, todo el fluido que está debajo tiende al contrario á repelerla hácia la superficie: y se demuestra matemáticamente que por la ley de la razon inversa del cuadrado de la distancia estas dos fuerzas opuestas deben exactamente equilibrarse. No sucede lo mismo con la molécula  $m'$  de la superficie exterior, esta es repelida lejos del centro por todas las moléculas del fluido; he aqui el esfuerzo continuo que ejerce contra el aire, ó contra los cuerpos no conductores sobre los que se apoya.

M. de Laplace ha demostrado que el fluido eléctrico tiene una fuerza repulsiva que por todas partes es proporcional á su espesor: y como la presion que ejerce contra el aire, ó contra los obstáculos que le detienen está en razon compuesta de su fuerza repulsiva y de su espesor, resulta de esto que la presion en cada punto ó sobre cada elemento de la superficie, es proporcional al cuadrado del espesor de la capa que se halla en este punto ó sobre su elemento. Así el fluido eléctrico difundido sobre los cuerpos conductores puede ser considerado como los fluidos ponderables contenidos en vasos contra los que ejercen presiones: cuando estos vasos son bastante resistentes el fluido está contenido, cuando son débiles para resistir á la presion las paredes rebientan y el fluido se derrama: para el fluido eléctrico el vaso es el cuerpo conductor, la pared el aire que le rodea, ó la capa de barniz no conductor que le cubre, y cuando el espesor de la electricidad es bastante grande, entonces hiende el aire ó atraviesa la capa de barniz y sale la chispa, lo que es la señal de un derramamiento rápido de fluido. Cuando la capa eléctrica está detenida y mantenida en equilibrio, es evidente que la suma de las acciones que ejerce sobre un punto interior cualquiera tal como  $n$  es siempre nula: sin



esto obraría por influencia una nueva descomposicion de fluidos naturales que se hallan en este punto, y el equilibrio seria turbado.

Sobre una elipsoide de revolucion (fig. 299) el espesor eléctrico no es mas el mismo en diferentes puntos de la superficie. Resulta de las condiciones matemáticas de que acabamos de hablar, que en el polo  $p$  y en un punto  $g$  del ecuador los espesores son entre sí como los radios vectores  $cp$  y  $cg$ ; por consiguiente las presiones son entre sí como los cuadrados de  $cp$  y  $cg$ . Por ejemplo, si la elipsoide es muy prolongada de modo que  $cp = 100\ cg$  la presión en el punto  $p$  será 10,000 veces mayor que en el punto  $g$ ; será pues siempre el extremo mas delgado de la elipsoide por donde el fluido deberá derramarse.

Una punta muy aguda puede siempre ser considerada como que es el polo de una elipsoide de revolucion muy prolongada: así por débil que sea la carga eléctrica de un tal cuerpo, el fluido que se acumula en su vértice formará siempre en él un espesor bastante grande para vencer la resistencia del aire; de aquí el *poder de las puntas* que fué descubierto por Franklin antes que fuese explicado por la teoría. Se dice algunas veces que las puntas tienen el poder de atraer el fluido eléctrico; es precisamente al contrario lo que se ha de decir: estas tienen la propiedad de dejar derramar el fluido de que están cargadas; se pueden hacer un monton de experimentos sobre esta propiedad: indicaremos los siguientes:

1.º Colocando una punta aguda sobre los conductores de la máquina se hace imposible el darles electricidad y retirar chispas de ellos; el fluido se disipa por la punta á medida que se desarrolla por el movimiento de la máquina.

2.º Una punta que comunice con el suelo, siendo presentada á los conductores de la máquina á un pie de distancia, es tambien imposible el cargarles: la electricidad del conductor descompone por influencia las electricidades de la punta: repele al suelo la del mismo nombre, y atrae la de nombre diferente la que se acumula en la punta y se escapa al través del aire para venir á neutralizar la del conductor.

3.º *Una campana armada de una punta* (fig. 301) hallándose debajo los conductores de la máquina á dos ó tres pies de distancia anuncia por el sonido de los pequeños péndulos  $p$  y  $p'$  la marcha de la electricidad. Este experimento es el mismo que el precedente; las líneas negras representan en la figura los hilos que deben ser no conductores.



Deberemos volver á la propiedad de las puntas cuando se hablará de la luz eléctrica, y particularmente en la Meteorología estudiaremos la electricidad atmosférica y la construccion de los pararrayos.

Los ángulos y las aristas de los cuerpos conductores presentan fenómenos análogos á los de las puntas; este es el motivo por el que es menester evitar con cuidado todas las formas angulares en los aparatos que están destinados á conservar la electricidad.

Los resultados precedentes nos conducen á una cuestion general de la que podemos entretanto comprender el sentido y la estension. Dense cuerpos conductores de los que conozcamos sus formas y magnitudes: los unos hállense en estado natural, y los otros tengan cargas conocidas de electricidad resinosa ó vítrea: se ponen en presencia para formar un sistema conocido de posicion: se supone que los fluidos reaccionan simplemente sin pasar de un cuerpo á otro; se pide cual es el estado eléctrico de un punto cualquiera de este sistema, es decir que especie de electricidad se halla en él, y que espesor forma.

Coulomb ha dado un medio esperimentel de resolver este problema en toda su estension. Aqui está el principio en que se apoya: Cuando un plano de prueba muy delgado y bastante pequeño está puesto tangentialmente sobre una superficie electrizada y se retira perpendicularmente sin tocarle por sus bordes, está cargado por cada superficie de un espesor eléctrico que es la mitad del que poseia la superficie en el punto de contacto. Coulomb ha demostrado este principio determinando la relacion segun la que la electricidad se parte entre una esfera y un plano circular que viene á tocarla por su centro y que se ha retirado perpendicularmente: Pero puede uno traducirlo de otro modo: cuando el plano de prueba es tangente á una superficie se confunde con el elemento que toca, toma en algun modo su lugar relativamente á la electricidad, ó mas bien pasa á ser el mismo el elemento sobre el que se difunde el fluido; asi cuando se retira este plano se hace lo mismo que si se hubiese cortado con la superficie un elemento del mismo espesor y de la misma estension que él, y que se hubiese quitado para llevarlo á la balanza sin que hubiese perdido nada de la electricidad que le cubre; este elemento una vez separado de la superficie no tendria mas en sus diferentes puntos que un espesor eléctrico mitad menor, porque el fluido deberia difundirse para cubrir las dos superficies. Puesto este principio el esperimento no exige mas que habitud y destreza: despues de haber tocado un punto de la superficie con el plano de prueba, se le lleva á la balanza en donde



parte su electricidad con el disco de la aguja que le es igual y se observa la fuerza de torsión á una distancia conocida. Se repite el mismo experimento tocando otro punto y la relacion de las fuerzas de torsion es la relacion de repulsiones eléctricas; se toma su raíz cuadrada, para obtener la relacion de los espesores. Asi el génio de Coulomb ha dado al mismo tiempo á los matemáticos la ley fundamental segun la que la materia eléctrica se atrae y se repele, y á los físicos una nueva balanza y principios de esperiencia segun la que pueden de algun modo sondar el espesor de la electricidad sobre todos los cuerpos, y determinar las presiones que ejercen sobre los obstáculos que la detienen.

El problema general de que acabamos de hablar y que puede ser en todos los casos tan fácil, y tan completamente resuelto por la esperiencia puede tambien ser atacado por la análisis. M. Poisson ha publicado dos memorias sobre este objeto (*Mem. del institut.*, 1811 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup> partes) apoyándose en la ley de Coulomb y sobre algunos teoremas fundamentales de la atraccion de los esferoides demostrados por M. De Laplace llega á ecuaciones generales que resuelve en seguida para el caso de una elipsoide, ó de dos esferas per medio de estos sábios artificios del cálculo que le son tan familiares.

En la imposibilidad en que nos hallamos de hacer conocer este trabajo, aunque sea por extracto, nos contentaremos con citar algunos de los resultados mas notables; estos son tanto mas decisivos para probar la exactitud de la análisis como que Coulomb los habia demostrado por la esperiencia. (*Mem. de la Academia*, 1787.)

1.<sup>o</sup> Cualquiera que sea la relacion de los radios de las dos esferas electrizadas cuando se tocan el espesor eléctrico es nulo en el punto de contacto.

2.<sup>o</sup> Partiendo del punto de contacto el espesor eléctrico crece lentamente: desde que se hace sensible es mayor en la esfera de mayor radio; pero en seguida á cierta distancia empieza á crecer mas rapidamente sobre la esfera mas pequeña de tal modo que es siempre mayor en la esfera mas grande en una media circunferencia de distancia del punto de contacto.

3.<sup>o</sup> En estos puntos diametralmente opuestos al punto de contacto la relacion de los espesores es tanto mayor cuanto la esfera pequeña es menor, pero tiende á un límite que es  $4, 2$ .

4.<sup>o</sup> Cuando uno separa estas esferas y se las sustrae de su accion mutua el espesor eléctrico es siempre mayor en la mas pequeña: la relacion de estos espesores tiende asi mismo á un límite que es  $\frac{4}{3}$ .



5.º Cuando se separan solo estas esferas á diferentes distancias de modo que queden sujetas á su influencia mutua, siendo su electricidad comun, por ejemplo, la vitrea, la pequeña esfera toma la electricidad resinosa en el punto *mas inmediato* de la grande esfera, y á una cierta distancia al rededor de este punto; continua en estar electrizada *resinosamente en esta parte*, á medida que se aleja, pero de menos en menos; cuando el intervalo que separa las esferas es (en las circunstancias las mas favorables) igual á poca diferencia á la mitad del radio de la mayor, la electricidad resinosa desaparece; y mas allá la pequeña esfera pasa á ser vitrea sobre toda su superficie como la mayor. Cuando el radio de la pequeña esfera sobrepasa el sexto del radio de la grande la electricidad resinosa parece aun, mas desaparece antes que el intervalo de las esferas sea igual al medio radio de la mayor.

6.º Cuando una pequeña esfera tomada en el estado natural está electrizada por la influencia de una esfera mayor reacciona sobre esta para turbar el espesor uniforme de su capa eléctrica, y entonces este espesor va decreciendo desde el punto mas vecino de la pequeña esfera hasta á una distancia de  $\frac{3}{4}$  de circunferencia; mas allá vuelve á ser creciente hasta al punto diametralmente opuesto.





## CAPITULO IV.

### De la electricidad disimulada.

204. *De la disimulacion de la electricidad y de su recomposicion lenta ó súbita.* — Concibamos dos discos conductores  $aa'$  (fig. 315) puestos en presencia y separados por una lámina no conductriz  $n$  de vidrio, ó de resina; cuando el disco  $a$  recibe por ejemplo electricidad vitrea, y el disco  $a'$  electricidad resinosa, estas dos electricidades se atraen al través de la lámina no conductriz  $n$  y comprimen sus dos superficies opuestas por el esfuerzo que hacen para reunirse: se dice entonces que las electricidades son *disimuladas*: En efecto cuando los discos están cargados se les puede tocar uno ú otro sin que el fluido marche al suelo, pero es menester tocarles *separadamente* y no *simultaneamente*: El fluido del que es tocado no obedece á la fuerza repulsiva que le es propia porque es atraído y retenido por el fluido del otro. Asi las mas fuertes cargas eléctricas se acumulan sobre los discos, se comprimen sobre las caras opuestas de la lámina no conductriz y quedan disimulados el uno por el otro mientras no se presenta salida para el suelo mas que para uno de los fluidos. Supongamos que los dos discos sean matemáticamente de la misma forma y de la misma magnitud; que la lámina  $n$  sea bien plana por sus dos caras, y por todas partes igualmente espesa; y que la máquina ó el manantial cualquiera que da electricidad vitrea al disco  $a$  por medio del hilo  $f$  sea exactamente de la misma fuerza que el que da electricidad resinosa al disco  $a'$  por el hilo  $f'$  de tal modo que todo sea simétrico de una parte y otra del plano que pasa por medio del espesor  $n$ : entonces es evidente que los dos discos tendrán siempre cargas iguales y que en los puntos simetricamente colocados en cada uno de ellos los espesores ó las tensiones eléctricas serán tambien siempre los mismos. Esto supuesto ved aqui un principio fundamental de la electricidad disimulada: este es que despues de haber dado al aparato una carga cualquiera y haberle



aislado en seguida suprimiendo la comunicacion de los hilos  $f$  y  $f$  sin que toquen al suelo sucede que la *disimulacion es incompleta*, es decir que no existe punto alguno en los discos ni en los hilos en que la tension eléctrica sea del todo nula. Esta tension es muy grande en las caras interiores  $i$  é  $i'$ , y allí cuando las superficies tienen bastante extension los fluidos pueden pasar la lámina  $n$  con tanta fuerza que se abren un paso al través de su substancia y la atraviesan para reunirse: si esta lámina es de resina ó de azufre se hacen entonces una multitud de pequeñas hendiduras imperceptibles; pero si es de vidrio delgado los fluidos no hacen mas que un agujero por el que se precipitan con ruido para recomponerse. En las caras exteriores  $e$  y  $e'$  y sobre los hilos  $ff$  la tension eléctrica que se ejerce contra el aire es muy débil en comparacion de la tension inferior, pero existe como puede uno asegurarse con el plano de prueba, ó bien presentando la articulacion del dedo sucesivamente á cada disco ó á cada hilo porque se hacen salir pequeñas chispas. La disimulacion no puede ser completa porque los fluidos acumulados en su mayor parte en las superficies interiores  $i$  é  $i'$  quedan aun separados por el espesor de la lámina no conductriz  $n$ , y solo en el contacto es que pueden ser neutralizados en totalidad el uno por el otro. Asi la disimulacion es tanto mas perfecta cuanto la lámina no conductriz es mas delgada; pero al mismo tiempo cuanto mas delgada es la lámina, tanta menor resistencia ofrece á la presion eléctrica. Aqui es, como lo veremos bien pronto, en donde se limita el grado de acumulacion que podemos dar á la electricidad.

Hallándose el aparato cargado como se acaba de decir las electricidades disimuladas pueden recomponerse subitamente ó lentamente. *La recomposicion subita* se determina del modo siguiente: se toma por sus mangos aislantes  $mm'$  el escitador  $bc b'$  (fig. 316) cuyos dos arcos de cobre  $bc$ , y  $cb'$  son móviles al rededor de la charuela  $c$ ; se toca uno de los discos con la esfera  $b'$  y se aproxima al otro disco la esfera  $b$  á una ó dos pulgadas de distancia, la chispa salta muy brillante y con ruido, y el aparato queda descargado. Por la tension eléctrica que hay en el punto de contacto  $b$ , una porcion de fluido eléctrico se difunde por todo el escitador: entonces el fluido resinoso es menos atraído de lo que era, su espesor disminuye sobre la cara  $i$ , y aumenta en la superficie exterior  $e'$  desde donde atrae al fluido vitreo que se halla en  $b$ , esta atraccion hace efluir al fluido vitreo hácia  $b$ , se acumula en este lugar, disminuye en el disco  $a$ , y al mismo tiempo el fluido resinoso hecho mas libre es trasportado y se acumula hácia



la cara exterior  $a'$  en donde está entretanto atraído; en fin la tensión es bastante fuerte para abrirse un paso por el aire, y todo el fluido se precipita y se recompone al instante.

La *recomposicion lenta* ofrece fenómenos curiosos y demuestra aun mejor el juego de las electricidades disimuladas. Estando los discos electrizados é aislados (fig. 317) comunicando dos pequeños péndulos  $pp'$  con sus superficies exteriores, experimentan una repulsion producida por la electricidad que es libre sobre estas caras: tocando el disco  $a$ , por ejemplo, se atrae una pequeña chispa el péndulo  $p$  vuelve á caer, y el péndulo  $p'$  se levanta al instante como si el disco  $a'$  hubiese recibido una nueva carga; pero este aumento de repulsion resulta solo del fluido resinoso que ha pasado á ser libre por la pérdida del vitreo que ha sufrido el disco  $a'$ , su péndulo vuelve á caer, y el de  $a$  se eleva, se vuelve al disco  $a$  y se reproduce el mismo fenómeno, y así sucesivamente, alternando, hasta que el aparato esté completamente descargado.

Se ha supuesto que los discos recibian electricidad el uno de un manantial resinoso, y el otro de un manantial vitreo, y que cada uno de ellos recibia cantidades iguales, pero por lo comun no se emplea mas que una máquina: se pone, por ejemplo, el disco  $a$  en comunicacion con ella, y el disco  $a'$  en comunicacion con el suelo; en este caso este se carga por *influencia*, y la carga que toma es siempre menor que la carga de  $a$ . Cuando las comunicaciones están rotas el péndulo  $p'$  está en reposo y el péndulo  $p$  diverge; pero hallándose la pérdida por el aire proporcionalmente mayor en el disco  $a$  se ve que su péndulo baja poco á poco al paso que el péndulo  $p'$  se eleva, y una vez establecida la igualdad de divergencia la pérdida por el aire pasa á ser igual: los dos péndulos vuelven á caer juntos con tanta mayor longitud cuanto el aire es mas seco. En lugar de dos discos separados por una lámina de vidrio se pueden emplear, para los precedentes experimentos, un simple cuadrado de vidrio sobre cuyas caras se encolan hojas de estaño dejando á descubierto cerca los bordes un espacio de dos ó tres pulgadas que se barniza para aumentar su inconductibilidad (fig. 318.)

205. *De los condensadores.* — Todos los aparatos en los que se acumula electricidad disimulada se componen esencialmente de dos láminas conductoras, separadas por una lámina no conductriz, y se llaman en general *condensadores*, porque en efecto el fluido eléctrico parece condensarse disimulándose. Estos aparatos mudan de forma y de nombre segun los usos á que se los destina.



Los que nos han servido para los experimentos precedentes (fig. 315, 316, 317, y 318) son condensadores á láminas de vidrio; son capaces de acumular grandes cantidades de electricidad, pero con motivo del espesor del vidrio no pueden ser cargados sino por máquinas, por electróforos, ó en general por manantiales de electricidad de una grande tension.

*El condensador de tafetan* (fig. 319) está compuesto de un disco de madera *bb'* revestido de un tafetan barnizado *tt'*, y de un platillo conductor *cc'* con un mango aislante *m*. Puesto el platillo en comunicacion con un manantial eléctrico sea directamente, sea por medio de la varilla ó esfera *yb* el fluido se esparce por toda su superficie, obra por influencia al través del tafetan contra las electricidades naturales del disco de madera, el que debe comunicar con el suelo, y el aparato se carga en razon de la tension del manantial que le da el fluido. En seguida se levanta el platillo perpendicularmente para separarle del tafetan, y reconocer por medio del electroscopo, ó por medio de la balanza la especie y cantidad de electricidad que le carga. El tafetan tiene menos espesor que el vidrio pero tambien es menos sólido, de que resulta que este condensador toma siempre mas electricidad que el precedente, y que no puede jamas resistir á cargas tan fuertes; es bueno para ensayar el fluido de manantiales que no tengan una grande tension.

*Condensador de láminas de oro* (fig. 320) no es otra cosa que un electroscopo á láminas de oro en el que se adaptan dos platillos metálicos, delgados y bien planos: el superior *cc'* es móvil y se quita por medio de un mango aislante, el inferior *ff'* está fijo en la guarnicion *gg'* de la campana *hh'*, y la lámina no conductriz que les separa está dispuesta con mucho arte y cuidado. Despues de haber separado los platillos se cubren sucesivamente, con un pincel de muchas capas de barniz muy líquido formado de la disolucion de la goma laca en el alcohol: este barniz una vez seco, es suficiente por la película que forma para detener la electricidad: su espesor no llega á ser de un milésimo de milímetro. Asi los platillos están casi en contacto: y la disimulacion de la electricidad es tan completa como es posible: bajó este aspecto el condensador de láminas de oro es el mas perfecto que se conoce, pero las capas delgadas de barniz, no ofreciendo mas que muy poca resistencia, no pueden soportar mas que muy débiles cargas. Este aparato nos servirá despues para una série de indagaciones acerca la electricidad que se desarrolla, sea por el contacto de los cuerpos, sea por



las acciones químicas á las que están sujetas. Para los experimentos delicados es útil tener la campana del condensador rodeada de una caja de vidrio en la que se seca el aire con algun cuerpo absorbente.

296. *De la botella de Leiden, y de las baterías eléctricas.* — Un vaso de vidrio revestido por su exterior de una hoja de oro ó de estaño que llegue á algunas pulgadas de las bordes, y tambien revestido por el interior, ó solo lleno de algunas substancias conductoras, de agua, de granos de plomo, de hojas de oro, ó de oropel, forma lo que se llama una *botella de Leiden* (fig. 321) ó un *jarro eléctrico* (fig. 322); la varilla *tb* se llama el *boton*, el *garfio*, ó el *interior* de la botella, porque sirve en efecto para poner en comunicacion la cara interior con el suelo, ó con los manantiales de la electricidad; todo el espacio comprendido entre la boca *g' g* y la *armadura exterior* está barnizado con mucho cuidado.

Para cargar la botella se la tiene en la mano por su vientre, ó por la armadura exterior y se pone el boton en comunicacion con los conductores de la máquina sea en el contacto, sea mas bien á una pequeña distancia á fin de ver salir una copia de pequeñas chispas que se suceden rapidamente desde luego, las que despues se retardan poco á poco con lo que indican el grado de carga. La electricidad vitrea de los conductores pasa á la botella, se esparce por toda la superficie interior y desde alli obrando por influencia al través del espesor del vidrio descompone las electricidades naturales de la armadura exterior, atrae la resinosa la que se acumula y se condensa sobre la pared del vidrio y repele la vitrea la que se derrama por el suelo, por la mano y por el cuerpo que le ofrecen paso. Se podria cargar la botella en sentido inverso y teniendo el garfio y presentando el vientre á los conductores: pero en todos los casos la comunicacion de una de las caras con el suelo es tan esencial como la comunicacion de la otra con la máquina. Algunas veces la botella se descarga espontáneamente con bastante ruido, tan pronto la chispa sale de entre el boton, y la armadura exterior, entonces se puede volver á empezar la carga, otras veces sale al través del espesor del vidrio y entonces la botella queda agujereada y es inservible.

Quando la botella está cargada se la pone con precaucion encima de un aislador, y se la puede descargar subitamente con el escitador, ó lentamente sacando alternativamente de su vientre y del boton una serie de pequeñas chispas.

La electricidad disimulada no queda sobre las armaduras interior y exterior, las deja para adherirse al vidrio y comprimirse en su superfi-



cie : esto es lo que se demuestra con una botella á *armaduras movibles*, (*fig. 323*); despues de haberla cargado , y puesta encima un aislante , se quita el interior que no se lleva consigo mas que muy corta cantidad de electricidad : se quita despues el vidrio dejando encima el aislante la capa exterior la que tampoco da mas que débiles signos eléctricos : pero habiéndose tocado las dos armaduras y vueltas á su estado natural , si se vuelve el vidrio en su armadura exterior , y la armadura interior en el vidrio , la botella asi recompuesta tiene casi la misma carga que tenia primitivamente : lo que prueba de un modo admirable que en la separacion de las piezas , las dos electricidades habian quedado pegadas en la superficie del vidrio : podriamos asegurarnos tambien de esto tendiendo una mano en el interior del vidrio , y la otra en el exterior , cuando se le acaba de despojar de sus armaduras , porque no se dejaria de recibir una fuerte conmocion.

Quando se presentan á la botella muchos conductores para descargarla la electricidad sigue siempre el mejor : asi comprimiendo con la mano una cadena ó un hilo de metal sobre su vientre se puede impunemente con la otra mano llevar al boton el otro extremo de la cadena ó hilo , la descarga pasa por el metal y jamas por el cuerpo ; con todo es siempre al caso asegurarse de antemano de que no hay solucion de continuidad en el metal , ó que no es demasiado delgado para dejar pasar todo el fluido , pues que un hilo escesivamente fino no bastaria para evitar el golpe.

Se mide la carga de una botella por la distancia á que da la chispa entre el boton inferior y otro boton que comunique con el exterior (*fig. 324*) ; la varilla *tg* está dividida , se la adelanta suavemente por medio del tornillo *v* y se observa la distancia de la que parte la chispa. Para que los esperimentos fuesen comparativos seria menester que la esfera *b* quedando la misma , tuviesen las mismas dimensiones todas las esferas de diferentes botellas.

Pondremos no obstante diferentes esperimentos de los que podremos fácilmente dar razon por medio de lo que precede.

En el repique de la figura 325 la una de las campanas comunica con el exterior de la botella , y la otra con el interior : la pequeña esfera de metal está suspendida por un hilo aislante : las oscilaciones son tanto mas rápidas quanto la distancia de las campanas es mas pequeña : en un tiempo seco , y en cargas medianas se pueden siempre contar algunos centenares.

La *araña de Franklin* de que se ha hablado ya puede reemplazar la pequeña esfera de metal del esperimento precedente.



*Las figuras de Leichtenberg* parecen indicar una diferencia esencial entre las dos electricidades resinosa y vítrea: se pueden obtener con un conductor comun que comunique con la máquina, pero se las obtiene mas hermosas y mas regulares con la botella de Leiden. Para esto se toma una botella cargada y se trazan figuras sobre una torta de resina muy seca: primero con el boton que contiene electricidad vítrea, y despues con el vientre que contiene electricidad resinosa: despues de esto con un soplo que contiene una mezcla de azufre con minio muy bien pulverizado se sopla sobre la torta de resina y se distinguen entonces los caracteres eléctricos que la botella ha dejado sobre la resina. Los diseños vítreos salen amarillos y los resinosos salen rojos; porque en el polvo mezclado el azufre está electrizado resinosamente y el minio por electricidad vítrea. Estas trazas son muy diferentes; las amarillas son como *erisadas* en hilos divergentes, al paso que las rojas ofrecen por todas partes contornos redondeados.

*El taladra carton* (fig. 330) ofrece un fenómeno curioso: puesta cada punta en comunicacion con una de las caras de la botella la chispa pasa y el carton queda agujereado por un orificio mayor que el de un alfiler, por ambos lados se observa al rededor del agujero un contorno felpudo y filamentos dirigidos hácia fuera como si el fluido hubiese partido de dentro del carton para salir por sus dos caras. M. Verstel esplica este hecho y muchos otros análogos suponiendo que la electricidad no experimenta un movimiento de traslacion en los cuerpos, si solo un movimiento de vibracion por el que se operan al rededor de cada molécula descomposiciones, y recomposiciones sucesivas: asi el fluido vítreo que se presenta en el punto *a* descompone los fluidos naturales de las moléculas que encuentra, atrae al resinoso con el que se combina por una chispa, repele al vítreo el que va á su vez á descomponer los fluidos naturales de las moléculas siguientes, á atraer el resinoso para volverse á combinar con él por una nueva chispa, y repeler el vítreo; y asi sucesivamente de modo que hay tantas chispas cuantas moléculas de materia ponderable: se puede hacer sensible esta suposicion haciendo pasar la descarga eléctrica por granos de metal enebrados con seda y separados el uno del otro.

Volveremos despues á esta importante teoria la que parece confirmada por todos los hechos de la electricidad química.

El agujero del carton no se hace á igual distancia de las dos puntas; pero en el aire comun se hace siempre cerca de la punta resinosa, y en el aire enrarecido en la campana de la máquina pneumática se aleja



de ella para aproximarse de mas en mas á la punta vítrea. Este hecho confirmado por M. Tremery queda sin esplicacion.

Para agujerear el vidrio por medio de la descarga eléctrica se cambia un poco la descomposicion del precedente aparato , porque en este caso es menester poner en el extremo de la una de las puntas una gota de un liquido conductor , una gota de aceite, por ejemplo, que toque inmediatamente el vidrio en una estension un poco considerable.

*El taladra vidrio* está representado en la figura 327.

Se inflaman los licores espirituosos con la botella de Leyden con mas seguridad que con la chispa directa del conductor de la máquina. Se puede tambien inflamar algodón envuelto en licopodio (pie de lobo) ó en resina pulverizada.

Por medio de la botella de Leyden se ha ensayado el apreciar la velocidad con que el fluido eléctrico se trasmite por los cuerpos. Hilos de metal aislados cuyo conjunto forma una legua de longitud transmiten instantáneamente la descarga eléctrica ; estos experimentos se hicieron en Francia y en Inglaterra de 1745 á 1750. En esta época se ensayó tambien la trasmision de la electricidad por el agua , y por el suelo seco y húmedo : partiendo de un punto dado un hilo de metal de muchos centenares de toesas de longitud , aislado sobre estacas de madera muy seca , entraba en el suelo por su otro extremo despues de haber atravesado rios y terrenos de diferente naturaleza : En el punto de partida estaba en comunicacion con la una de las caras de la botella , al paso que el suelo estaba en comunicacion con la otra cara : los fluidos no podian reunirse sino despues de haber atravesado toda la longitud del hilo metálico y toda la estension del suelo y del agua desde la segunda estremidad del hilo hasta el lugar de la observacion ; y no obstante tanto espacio y tantos obstáculos la descarga de la botella fué instantánea como si se hubiese descargado por el escitador comun. En un punto cualquiera de esta larga cadena se podian inflamar licores espirituosos , y era un espectáculo admirable ver inflamarse el alcohol por fuego que acababa de pasar un rio.

La conmocion de la botella de Leyden tiene bastante fuerza para ser dañosa. Pasa por los brazos y pecho , cuando teniendo con una mano el vientre de la botella se viene con la otra á tocar el boton. En este caso las cargas débiles se hacen sentir solo en el antebrazo , las cargas un poco mas fuertes se hacen sentir en el codo , y las mas fuertes producen un vivo dolor en el pecho. Para hacer pasar la conmocion entre dos puntos dados del cuerpo basta establecer armaduras sobre estos dos



puntos, es decir planchas de metal que se hacen comunicar con las dos caras de la botella.

Cuando muchas personas forman la *cadena* cogiéndose por las manos, si la primera toca el vientre de la botella y la última el botón, todo el círculo recibe instantáneamente la conmoción: las personas que están en medio experimentan un choque menos vivo que las que tocan la botella. Antes todos deseaban saber hasta á que punto se extendía este poder del choque eléctrico, y despues de haberle tentado sobre círculos numerosos, se ensayó en un regimiento formado en batalla, el que fué desarreglado de un solo golpe.

*Las baterías eléctricas* (fig. 329) son la reunión de muchas botellas de Leyden, ó de muchos jarros cuyo interior comunica por medio de varillas de metal  $t, t', t''$ , y cuyos exteriores comunican tambien porque el fondo de la caja de madera  $bb'$  sobre el que descansan es una plancha de plomo. Cuando se quieren cargar juntas muchas baterías, se hacen comunicar todas las armaduras internas entre sí, y todas las externas con el suelo, y para juzgar del grado de carga se emplea el pequeño electrometro de péndulo (fig. 326), el que se pone encima los conductores de la máquina: al principio y durante los primeros giros del disco el péndulo está casi en reposo, porque las baterías condensan todo el fluido que se desarrolla; pero poco á poco el péndulo se eleva y por los diferentes ángulos de separación que forma se juzga de los diferentes grados de su tensión eléctrica y por consiguiente de los diferentes grados de tensión del interior de las baterías, porque estas se hallan siempre en la misma relación que las primeras.

Una batería puede descargar del mismo modo que la botella de Leyden, sea lentamente sea rápidamente: pero es menester redoblar la precaución á fin de no recibir el choque. El espesor del vidrio de los jarros y la tensión de la máquina quedando la misma, la fuerza de una batería puede ser valuada por la estension de la superficie que se carga: cien pies cuadrados condensan cien veces más electricidad que un solo pie cuadrado, y es necesario ser un hombre muy robusto para soportar sin daño el choque de un pie cuadrado cargado por una máquina ordinaria. Vamos á indicar algunos de los fenómenos más notables que se pueden producir por medio de estas grandes acumulaciones de electricidad.

Todos los cuerpos que reciben el choque se colocan entre las dos ramas  $bb'$  del *escitador universal*, el que está representado en la figura 333. La una de estas ramas comunica con el escitador de la batería



por medio de la cadena *c*; la otra comunica con una cadena *c'* que termina en la esfera aislada *b*. Cuando se quiere hacer pasar la chispa se toma la esfera *b* por el extremo de su mango aislante, se la aproxima súbitamente al interior de la batería, sale la chispa y los fluidos se recomponen en todo el circuito *b, c', b'', b, c*.

Puesto un hilo de hierro de muchas pulgadas de longitud entre las ramas del escitador una débil descarga le calienta, si es fuerte le enrogece, y una mas fuerte le hace saltar en pequeños globos fundidos que son arrojados lejos, y una mas fuerte aun les hace desaparecer en vapor. Con una máquina muy poderosa Van-Marum ha fundido cincuenta pies de longitud del hilo.

Una cinta estrecha de hoja de estaño de tres ó cuatro pulgadas de longitud es volatilizada por una batería ordinaria, el vapor se oxida y forma largos filamentos que flotan por el aire semejantes á telas de araña.

Los demas metales pueden tambien calentarse, enrogecerse, fundirse y oxidarse; pero tomándoles de la misma longitud y del mismo diámetro cargas iguales, no producen en todos los mismos efectos: los que son peores conductores como la platina, el hierro, experimentan en igualdad de dimensiones mayores efectos de calor que el oro y el cobre que son mejores conductores.

Los hilos de seda dorados presentan un fenómeno singular, el que demuestra la rapidez con la que las moléculas de materia conductriz son heridas por el choque eléctrico: el oro que las cubre es volatilizado y oxidado sin que el calor pueda ni tan solo romper la seda. Para hacer este experimento mas sensible se pone en contacto con el hilo una hoja de papel blanco encima de la que se vé despues del choque una ancha señal de color pardo. Por el mismo medio se puede quitar el dorado de un libro ó de otra superficie no conductriz, con tal que no tenga escesiva estension.

Nos servimos de esta propiedad para formar *impresiones eléctricas*: *depr* (fig. 332) es un *calado* en papel al que hay encoladas dos fajas de hojas de estaño *ff'*: por un lado se cubre de una hoja de oro que toca al estaño por dos de sus bordes; por el otro se cubre con una cinta de raso, y para asegurar el contacto se pone todo este sistema bajo la *prensa pp'* (fig. 331). Puestas las dos fajas de estaño en comunicacion con las dos caras de la batería sale la chispa, el oro se volatiliza, y por todos los agujeros del calado pasa á la cinta en la que hace una impresion de color pardo muy regular.

Las fuertes cargas hacen una impresion notable sobre las masas me-



tálicas. Priestley ha observado que licuan su superficie en el lugar en que le atraviesen: si el metal es poco fusible, se percibe despues del paso de la chispa un círculo de fusion de una ó dos líneas de diámetro; pero si es muy fusible como el plomo, el estaño, se perciben al rededor del círculo central hasta tres anillos de *fusion* de una anchura sensible, concéntricos, y separados los unos de los otros por intervalos de cerca una línea.

Cuando la chispa pasa por un líquido estalla y brilla como en el aire; casi siempre el líquido es arrojado por todas partes con grande fuerza.

Estalla tambien de la misma manera en la *polvora* y determina su explosion. Se puede hacer el esperimento con pequeños cartuchos de dos ó tres líneas de diámetro y de quince á veinte líneas de longitud: dos hilos de hierro que atraviesen los extremos opuestos del cartucho llegan hasta casi su mitad á una pequeña distancia el uno del otro; al pasar su intervalo es cuando la chispa le inflama.

En los gases la chispa produce una expansion tan grande que puede arrojar una pequeña bala por medio del *mortero eléctrico* representado en la (figura 328). Kinnersley que fué el primero que observó este fenómeno notable inventó tambien un aparato para medir su intensidad: este es un tubo de vidrio cerrado y armado por sus dos extremos (fig. 334): la chispa marcha entre las dos esferas *bb'* y un líquido que se eleva al mismo tiempo por un tubo lateral *tt'* dá la medida de la expansion. Este aparato se llama el *termómetro de Kinnersley*.

Los malos conductores son agugereados, ó rotos por la descarga de una fuerte bateria: una piedra aplastada de muchas líneas de espesor es agugereada como el vidrio delgado. Un cilindro de madera de dos ó tres pulgadas de diámetro y de media pulgada de espesor puede ser hendido en pedazos por una descarga que pase en el sentido de las fibras.

En la superficie de algunas substancias la chispa deja un rastro luminoso que brilla por algunos segundos, y algunas veces durante mas de un minuto. Esta especie de fosforecencia es roja ó violada en la creta, es verdusca en el azúcar, en ciertos espatos calcáreos cristalizados y en el asperon de Fontainebleau.

No son menester baterias muy fuertes para matar aves, conejos y aún animales de mayor talla: caen súbitamente y la observacion anatómica no ha podido descubrir hasta hoy los órganos que son dañados; con todo las convulsiones que experimentan, cuando el choque es muy débil para matarles dan motivo de juzgar que el sistema nervioso está violentamente atacado.



## CAPITULO V.

### De la luz eléctrica y del movimiento de los cuerpos electrizados.

207. *Condiciones generales para que la electricidad dé luz.*—Las mayores cargas eléctricas acumuladas sobre los cuerpos, sea directamente, sea por disimulacion, jamas dan apariencia alguna luminosa cuando el equilibrio está establecido, y el fluido se halla en reposo. Asi la primera condicion de la luz eléctrica es el movimiento de los fluidos ó la ruptura de su equilibrio. Esta condicion siempre necesaria no es siempre suficiente; es menester ademas que la tension de los fluidos que determina su movimiento sea una fuerza bastante considerable. Por ejemplo la electricidad de una máquina ordinaria no dá luz sensible cuando marcha hácia el suelo por un hilo de metal: al paso que una máquina poderosa puede rodear de una aureola brillante un hilo de hierro de cincuenta pies de longitud que comunique con el suelo tan perfectamente como posible sea, (*Van-Marum, descripcion de la gran máquina del museo de Feyler*). La tension necesaria para la produccion de la luz es del todo dependiente del estado, de la forma, y de la conductibilidad del medio en el que los fluidos eléctricos deben moverse: algunas veces débiles tensiones dan una luz brillante, otras veces las mas fuertes tensiones que puedan acumularse no dan la menor apariencia luminosa.

208. *Luz eléctrica en el aire y en los gases bajo la presion atmosférica.*—La distancia á la que puede sacarse la chispa de un cuerpo electrizado depende particularmente de la conductibilidad de su substancia, de la estension de su superficie y del espesor de la capa eléctrica de que está cargado; porque la sola condicion para que salga la chispa es que la tension de la electricidad pueda vencer la presion del aire. En los cuerpos de formas angulosas esta condicion se halla satisfecha hasta para cargas muy débiles, y el fluido se disipa espontaneamente formando *penachos* de luz que brillan en la obscuridad



y cuyos rayos divergentes presentan algunas veces una longitud de muchas pulgadas. En los cuerpos de figura redonda son menester cargas muy poderosas para que la chispa salga por sí misma : pero si se les presenta un conductor que comunique con el suelo, se ejerce al instante una acción por influencia, los fluidos se desalojan en fuerza de la conductibilidad, se acumulan en razón de la extensión de las superficies, y la chispa salta desde que la presión del aire es vencida sobre el uno ó el otro de los cuerpos que se hallan en presencia. Una máquina es muy fuerte cuando sin el socorro de conductores secundarios da chispas á veinte ó treinta pulgadas. A esta distancia la luz eléctrica forma una especie de ráfaga cuales sinuosidades son del todo análogas á las serpentinadas del rayo.

Para multiplicar las chispas que dá una máquina basta multiplicar las soluciones de continuidad del conductor por el que el fluido marcha al suelo. En este principio apoyan todos los juegos de luz eléctrica.

Con granos de metal enebreados en seda y mantenidos por nudos á algunos milímetros de distancia, se pueden componer cadenas de guirlandas ó de diseños que parecen resplandecientes como el fuego todo el tiempo que se dan vueltas al disco de la máquina con la que comunican. La luz parece entre el último y el que le precede en el mismo instante; tan rápida es la comunicación de la electricidad en toda la comunicación de la cadena.

*Los tubos centellantes* (fig. 303) se componen de pequeños rombos de hojas de estaño que se encolan sobre el vidrio aproximando sus puntas á pequeñas distancias la una de la otra : la chispa sale en el mismo instante de todos los romboides, y el tubo ó el matras parece iluminado en toda su longitud.

*Los cuadros centellantes* ofrecen á la vista diseños mas finos y variados: se forman encolando sobre un cuadro de vidrio ordinario pequeñas cintas de hojas de estaño  $bb'$ ,  $cc'$  (fig. 302) que forman una cinta continua desde  $a$  hasta  $z$ : despues se quitan con una punta todas las partes de estas fajas que se hallan en los contornos del diseño que se quiere hacer sensible. Cada una de estas soluciones de continuidad está señalada por una chispa cuando se hace pasar el fluido de la máquina de  $z$  á  $a$ , ó de  $a$  á  $z$ . Puedense de este modo representar con bastante exactitud figuras de toda especie: este era el grande entretenimiento de los electricistas del siglo pasado.

*El cuadro mágico* está dispuesto de otro modo: una de sus caras está cubierta de una hoja de estaño y la otra de una especie de bar-



niz que contiene mucha *venturina*. La electricidad se acumula por disimulacion, y cuando sale la chispa se ven en la cara en que hay *venturina* rasgos de fuego que serpentean en todos los sentidos.

Es tambien en la obscuridad que se han de estudiar los fenómenos de las puntas: entonces cuando se ponen en comunicacion con los conductores de una fuerte máquina se ven espigas brillantes, como la que está representada en la figura 305: en el extremo de la punta no se distingue mas que un solo rasgo de fuego el que se divide á una pequeña distancia y se ramifica en una série de pequeños hilos resplandecientes.

La electricidad resinosa no dá jamás espigas tan divergentes y tan prolongadas como la electricidad vitrea. Este singular fenómeno es muy digno de atencion, porque parece ofrecer un carácter entre los dos fluidos eléctricos.

Las puntas que están en comunicacion con el suelo dan tambien espigas aun cuando se hallan á muchos pies de distancia de los cuerpos electrizados.

Sacando chispas un poco fuertes de un pedazo de paño ó de seda cubiertos de polvo metálico, ó frotados con hojas delgadas de oro ó de plata se observan efectos análogos á los del cuadro mágico. La luz se vé en mil lugares á la vez, y se ramifica en todos sentidos en la estension de su superficie.

Puntas de cuerpos conductores aun mas agudas y mas aproximadas dan una especie de *fosforescencia continua*: por ejemplo, las láminas de oro muy delgadas encoladas sobre vidrio, cuero ó madera parecen iluminadas durante todo el tiempo que la electricidad las atraviesa, y sobre ciertos cuerpos mal conductores la fosforescencia se prolonga durante muchos minutos despues del paso del fluido.

Estas apariencias luminosas que no ofrece la electricidad de las máquinas son una imitacion muy débil, y con todo muy exacta de muchos fenómenos que se observan en el cielo y en la tierra en el movimiento de tempestades. Ellas nos servirán de principio para explicar en la Meteorología, todas las formas de la luz eléctrica, tales como el relámpago, las lenguas de fuego que parecen en lo alto de los mastiles de los navíos, ó sobre las flechas de torres elevadas, y una série de otros meteoros que, para los antiguos eran un objeto de espanto y supersticion.

209. *Luz eléctrica en el vacio, en los vapores y en los gases enrarecidos.*— Un tubo de ocho ó diez pies de longitud en el que se



hace el vacío, puesto por uno de sus extremos en comunicacion con una máquina ordinaria, y por el otro en comunicacion con el suelo, manifiesta todo su interior iluminado por una luz viva. No hallando la electricidad mas que una débil resistencia en el aire que queda, se disipa lateralmente por toda la capacidad del tubo y corre señalando todo su paso por ráfagas de fuego. Cuando las comunicaciones están bien establecidas la luz parece fija y uniforme; pero si en lo exterior del tubo se aproxima un cuerpo conductor es conducida hácia él y brilla con mayor resplandor. Sucede casi siempre que un tubo que ha servido para estos experimentos dá aun cierta especie de ráfagas de luz mucho tiempo despues de haberse apartado de la máquina.

Para observar las diferentes apariencias de la luz eléctrica segun los diferentes grados de enrarecimiento del aire, se emplea el aparato que está representado en la figura 304: este es un vaso de vidrio de figura elipsoide, el que antes se llamaba *huevo filosófico*; en uno de sus extremos lleva un tubo con llave y en el otro una varilla con boton que pasa por una caja de cuero. Cuando el vacío está tan perfecto como es posible, la electricidad pasa libremente llenando de luz toda la capacidad del vaso: cuando se deja entrar un poco de aire la luz es menos difusa; se estrecha y forma entre los dos botones *b* y *b'* arcos de color de púrpura: una cantidad de aire un poco mayor produce aun menos diffusion en la luz, y asi sucesivamente hasta al momento en que el fluido no puede pasar sino saltando de un boton á otro en forma de chispa.

Como con las mejores máquinas no podemos hacer el vacío sino hasta dos milímetros, queda aun, en los experimentos precedentes una cantidad de aire que puede tener una grande influencia tanto en la formacion de la luz como en su color. Siendo el vacío barométrico el mas perfecto que podamos obtener, es curioso ver como el paso de la electricidad al través de los vapores tan raros del mercurio produce fenómenos luminosos. Desde el año 1660 Picard habia notado que un barómetro era luminoso cuando se le agitaba en la obscuridad; despues se ha comprobado que este fenómeno se debe á la electricidad que se desarrolla por la frotacion del mercurio contra las paredes interiores del tubo. En fin, Cavendisch imaginó el hacer un *doble barómetro* de modo que la electricidad dada á una de las cubetas fuese obligada á atravesar el vacío para ir á salir por la otra cubeta y derramarse por el suelo (fig. 306). En este vacío mas perfecto que los precedentes, la materia eléctrica ofrece tambien los mismos fenómenos:



llena de luz todo el espacio que atraviesa, y se reconoce que tensiones muy débiles son suficientes para hacerla pasar desde el vértice de la primera columna al vértice de la segunda.

Los colores de la luz eléctrica son muy variables, y las mutaciones que presentan dependen de la fuerza de la chispa y de la presión del gas que atraviesa: con todo para la misma fuerza y la misma presión hay gases y vapores que parecen dar con preferencia las tintas rojas al paso que otros dan los colores azules ó violados.

210. *Causas de la luz eléctrica.* — Algunos autores han juzgado que el fluido eléctrico, cuando á la fuerza se abre algun paso al través de los cuerpos, les comprime hasta al punto de hacerles luminosos: así, según esta hipótesis los vapores de mercurio en el vacío barométrico serian ellos mismos comprimidos, y apretados con tanta violencia que segregarian calor y luz. No hay á la verdad hechos positivos para demostrar la falsedad de esta opinion, ni aun su influencia.

Con todo hay otra suposicion que en el dia es mas generalmente admitida, y que parece mas razonable; parece que por la primera vez la manifestó Ritter, y parece que despues ha sido desarrollada por un grande número de sabios, particularmente por MM. Davy, Oersted y Berzelius: esta consiste á mirar todos los átomos de la materia ponderable como los elementos entre los que se verifican todas las descomposiciones y recomposiciones eléctricas. Los átomos poseerian primitivamente uno de los fluidos; los unos que se llaman *electro-positivos* poseerian primitivamente el fluido positivo ó vítreo; los otros que se llaman *electro-negativos* poseerian primitivamente el fluido negativo ó resinoso: los primeros rodeados de fluido neutro habrian atraído fluido negativo, al paso que los últimos al contrario, habrian atraído fluido positivo, de modo que se hallarian el uno y el otro en estado natural. Sentado esto imaginemos un solo orden de átomos electro-positivos ó electro-negativos y el uno de los fluidos que se presenta para recorrerle; es evidente que se manifestarán súbitamente tantas pequeñas chispas cuantos átomos habrá, á poca diferencia como sucede en la cadena de granos de metal de que se ha hablado; en muchos órdenes de átomos el fenómeno, y en el vacío del doble barómetro, los átomos dispersados del vapor de mercurio serian la verdadera causa de la luz que se observa. En fin en el vacío absoluto, no se sabe lo que sucederia, porque siendo homogéneo el fluido neutro y sin soluciones de continuidad, nada se puede decir de los efectos



que experimenta porque no se sabe nada del modo de agregacion de los dos fluidos que le constituyen.

Aunque esta hipótesis parece apoyada por todos los hechos conocidos, está no obstante en el caso de sujetarse á nuevas tentativas, y de ser mirada mas bien como un medio de buscar la verdad que como una verdad misma.

211. *Causas del movimiento de los cuerpos no conductores electrizados.* — No parece que exista alguna atraccion á distancia, ni tampoco afinidad alguna entré el fluido eléctrico y la substancia de los cuerpos no conductores, porque todos estos cuerpos pierden su electricidad en el vacío. Segun esto si consideramos dos esferas de goma laca, por ejemplo, cargadas la una y la otra de la misma electricidad, y puestas en presencia la sola fuerza que las solicita es la repulsion de todas las moléculas del fluido de que están revestidas: el efecto inmediato de esta fuerza seria pues separar estas moléculas y dispersarlas por todas partes si pudiesen moverse libremente: por ejemplo si las dos esferas estuviesen en el vacío quedarían inmóviles, al paso que su electricidad obedeciendo á su repulsion propia, se diseminaria por los límites del espacio; pero suspendidas en medio del aire que es un mal conductor, el fluido que las cubre está detenido en todos sentidos, ó mas bien halla una resistencia para vencer. Aquellas de sus moléculas que apoyan en el aire no pueden moverse sin impeler el aire de delante de ellas y las que apoyan sobre la substancia de las esferas de goma laca no pueden tampoco moverse sin impelerlas como un obstáculo que se opone á su marcha. Es por este doble efecto que las esferas están puestas en movimiento y separadas la una de la otra.

Para hacer el fenómeno mas sensible se podria concebir que las esferas de goma laca después de haber sido electrizadas han tenido su superficie cubierta de una capa de substancia impermeable á la electricidad, de tal modo que el fluido que las carga esté como encarcelado entre estas dos materias no conductoras. En este caso es evidente que todas las acciones repulsivas que se ejercen entre las moléculas eléctricas, se transmiten inmediatamente á las moléculas ponderables por el solo hecho de la resistencia pasiva que oponen. La capa de aire que rodea los cuerpos hace precisamente el oficio de esta capa impermeable á la electricidad.

Se prueba del mismo modo que esferas cargadas de fluidos contra-



rios deben ser arrastradas y atraídas por el esfuerzo que hacen las moléculas de estos fluidos para volverse á unir.

El mismo raciocinio se aplica á todos los cuerpos no conductores cualquiera que sea su figura; y es visible que si un cuerpo no conductor tomado en su estado natural no es jamás atraído ni repelido por un cuerpo electrizado, esto es simplemente porque no siendo sus fluidos descompuestos por influencia y separados el uno del otro experimenta siempre acciones contrarias, la una atractiva y la otra repulsiva, las que son sin cesar iguales, y se destruyen.

212. *Movimiento de los cuerpos conductores electrizados.* — Se ha visto ya que la electricidad en su estado de equilibrio en un cuerpo conductor forma una capa de un cierto espesor, la que tiene dos superficies, la una que apoya contra el aire ambiente, y la otra que es libre en la misma substancia del cuerpo. Las moléculas de la superficie libre no pueden jamás solas imprimir movimiento alguno á la materia ponderable, pues que tienen la facilidad de pasar de un punto á otro por toda la masa sin hallar en ella resistencia alguna sensible. Todos los movimientos de los cuerpos conductores electrizados son pues el resultado de diferentes presiones que el fluido ejerce contra el aire ó en general contra las capas impermeables que limitan sus superficies; porque se puede siempre comparar el aire que toca á un cuerpo conductor á una capa impermeable que haga cuerpo con él. Sentado esto si se imaginan esferas conductoras, es claro que cargadas de una misma electricidad se repelerán, particularmente por las regiones de su superficie más alejadas las unas de la otra, al paso que cargadas de electricidad contraria se atraen particularmente por las regiones más inmediatas; y esto no es porque las moléculas de la superficie libre no tengan alguna parte en el fenómeno, porque ellas están mantenidas en el lugar que ocupan por fuerzas ó repulsiones contrarias que ponen su apoyo contra la capa de aire ambiente.

Un cuerpo conductor en su estado natural es siempre atraído por un cuerpo electrizado, porque estando sus fluidos separados por influencia, y siendo siempre llamado á la región más vecina el de nombre contrario, la atracción que se ejerce sobre él es siempre más eficaz que la repulsión que se ejerce sobre otro á una distancia mayor.

213. *Movimientos producidos por la separación de la electricidad.*

— Encima un vidrio conductor *cp* que comunique con la máquina (fig. 315) se pone en equilibrio una pequeña varilla de metal *tt'* cuyos dos extremos son puntiagudos y encorvados en sentido contrario;



y desde que se dan vueltas á la máquina, este aparato que se llama *molinillo eléctrico*, empieza un movimiento de rotacion muy rápido, como si las estremidades de las puntas fuesen vivamente repelidas. El mismo fenómeno se produce con molinillos de muchas puntas, y cuando se observa en las tinieblas se ven penachos de luz que salen de cada una de las puntas. La electricidad resinosa y la vítrea presentan diferencia respecto á la luz, pero no la presentan con relacion al movimiento. Esta rotacion curiosa se esplica del modo que sigue:

El fluido eléctrico esparcido por toda la superficie de los brazos del molinillo ejerce por todas partes una presion contra el aire que le rodea, como el agua y los otros fluidos ponderables comprimen por todos los puntos las paredes de todos los vasos que les contienen. Si el fluido eléctrico no hallase salida las presiones opuestas serian siempre iguales, y el aparato quedaria en reposo; pero desde que se derrama por una punta, no ejerce mas presion contra el orificio por donde sale, y la presion que se ejerce contra el punto opuesto determina el movimiento por un verdadero *retroceso* del todo parecido al que se ejecuta en el molinillo á gas ó en el molinillo hidráulico.

214. *Movimientos producidos por una descomposicion espontánea.* — Concibamos una esfera conductriz de cobre, por ejemplo, que comunique con el suelo por medio de un hilo muy fino, y puesta sobre un plano no conductor indefinido en el que no está sostenido, sino por su peso; imaginemos que encima de ella, á una cierta distancia se dispone un cuerpo capaz de recibir ó conservar las mas fuertes cargas eléctricas: es evidente que si la esfera es muy pequeña será trasportada por la atraccion que experimenta, y vendrá de abajo arriba no obstante su peso para precipitarse sobre el cuerpo que la solicita por influencia. Pero es evidente tambien que aumentando su diámetro y su peso llegará un cierto límite en que la fuerza eléctrica será del todo insuficiente para sublevarla: saldrá la chispa entre ella y el cuerpo electrizado que la solicita sin que ella reciba el menor movimiento, á poca diferencia como la chispa que parte de los conductores de la máquina sin que ellos sean arrastrados ni arrancados de sus pies.

Con todo se observan efectos del rayo que parecen contrarios á este principio: se han visto varias veces grandes masas trasportadas á muchas centenas de pasos, y particularmente piezas de metal arrancadas de sus asientos por esfuerzos equivalentes á muchos millares de kilogramos. Estos fenómenos me parecen depender de una diferencia en



la descomposicion de los fluidos naturales por acciones lentas ó por acciones súbitas. En el primer caso la conductibilidad basta para el desalojamiento de los fluidos, y tienen el tiempo de trasportarse y arreglarse en la superficie, en que ejercen una presion contra el aire que es pronto capaz de repelerle: en el segundo caso todos los átomos de la masa experimentan simultánea y subitamente una descomposicion de sus fluidos naturales: son conmovidos con tanta violencia que el arreglo exigido por las leyes del equilibrio no halla tiempo para completarse, y las masas son tambien arrastradas por fuerzas incomparablemente mayores que las que podrian hallar su punto de apoyo contra el aire.



## CAPITULO VI.

### Electricidad desarrollada por la presion y por el calor.

215. Se ha visto que dos superficies cualesquiera se electrizan por frotacion la una tomando el fluido vitreo, y la otra el resinoso: hemos visto tambien que la tension de la electricidad que se desarrolla en estas circunstancias depende de la naturaleza de los cuerpos, del estado de su superficie, y de su temperatura. Pero esta causa mecánica no es la sola que pueda descomponer ó separar los fluidos: bajo ciertas condiciones las mutaciones de presion y de temperatura pueden tambien desarrollar la electricidad.

216. *Desarrollo de electricidad por presion.* — Se pone un disco de metal sobre un tafetan gomado: se quita luego por medio de un mango aislante despues de haberle comprimido un poco y se halla electricidad resinosa en este disco y vitrea en el tafetan. Este experimento que se debe á M. Libes no ofrece un carácter decisivo: En adherencia que se contrae entre la superficie del metal y la viscosa del barniz produce un efecto bastante análogo á la frotacion. Pero M. Haüy ha llegado á escitar electricidad en un grande número de cuerpos de superficies lisas y pulidas, y en tales circunstancias que el fenómeno es positivamente debido á la presion y no á la frotacion. Por ejemplo un fragmento de espato calcáreo con caras paralelas estando comprimido un instante entre los dedos adquiere una carga muy sensible de electricidad vitrea; sucede lo mismo con el topacio, con la cal fluatada, con la mica, la arragonita, el cuarzo y muchas otras substancias; pero siempre la electricidad que toman depende de la naturaleza del cuerpo que les comprime. M. Haüy descubrió al mismo tiempo una propiedad muy curiosa de los cristales eléctricos por presion: esta es la facultad que tienen de conservar su electricidad por muchas horas, y alguna vez aun durante muchos dias. La cal carbonatada es bajo este respecto la substancia mas notable, posee una tal *fuerza coercitiva* que despues



de haber sido comprimida por un instante da aun despues de once dias señales eléctricas sensibles (Anales de física y de química, tomo 5). En esta propiedad apoya la aguja eléctrica de M. Haüy representada en la figura 314: esta se parece á la aguja ordinaria con esta sola diferencia que en la una de las estremidades en lugar de una pequeña esfera de metal se halla adaptada una pequeña lámpa de cal carbonatada co' la que se electriza comprimiéndola entre los dedos: conservando muy bien este electroscopo su fuerza primitiva es uno de los mas simples y de los mas cómodos para comparar aproximativamente las tensiones eléctricas de diferentes cuerpos que le presentan. Asi la facultad de escitar electricidad por una dada presion, la de tomar este ó el otro fluido y la de conservar por un tiempo mas ó menos largo son otros tantos caracteres que pueden servir para distinguir y clasificar los cristales.

217. *De las electricidades producidas por el calor.* — La turmalina tiene la propiedad de atraer y repeler los cuerpos ligeros: en las Indias y particularmente en Ceylan en donde esta piedra es muy comun, se entretiene en esta propiedad hace muchos siglos, á poca diferencia como en tiempo de Pluton los griegos se entretenian en las atracciones del iman. Un fenómeno tan curioso no podia escapar á la atencion de los viageros y aun de los comerciantes. Los Holandeses hicieron conocer las turmalinas en Europa y desde un siglo hace sus propiedades han ejercitado la sagacidad de los fisicos.

1.º Cuando una turmalina es eléctrica presenta siempre hácia las estremidades de su eje *polos contrarios*, el uno que obra por su fluido resinoso, y el otro por su fluido vítreo: su region media no da señal alguna de electricidad. Los fluidos eléctricos que se escitan en la turmalina están pues distribuidos á poca diferencia como los fluidos magnéticos que se hacen libres en un iman cilindrico ó prismático.

2.º Si se rompe una turmalina transversalmente mientras está electrizado cada uno de sus fragmentos ofrece dos polos, dispuestos en el mismo sentido que los polos primitivos: otra analogia notable entre el fluido eléctrico de las turmalinas, y el fluido magnético de los imanes. Era preciso anunciar estas dos leyes generales de la distribucion de los fluidos en las turmalinas para comprender las condiciones del desarrollo de la electricidad y las singularidades que presentan.

3.º Para cada turmalina hay dos límites de temperatura entre los que están comprendidos todos los fenómenos eléctricos: encima del limite superior, y debajo del inferior la turmalina se lleva como los



demás cuerpos y no manifiesta *electricidad polar* alguna. Estos límites á menudo parecen ser  $10^{\circ}$  y  $150^{\circ}$ : en general son poco diferentes entre turmalinas de la misma dimension, pero varian con la longitud.

4.<sup>o</sup> Entre estos límites cuando se calienta una turmalina regularmente, es decir de modo que esperimete á poca diferencia los mismos grados de calor en todos los puntos de su circunferencia sus polos eléctricos empiezan á parecer, el vítreo en un extremo, y el resinoso en otro y quedan así durante todo el tiempo que la temperatura *varia ó se eleva*.

5.<sup>o</sup> Cuando una turmalina tiene sus polos por calefaccion si se la enfria regularmente sus polos desaparecen un instante para reaparecer despues, pero cambiando de posicion, tomando el vítreo el lugar del resinoso y *vice-versa* y estos polos por enfriamiento, inversos de los primeros se mantienen durante todo el tiempo que la temperatura *varia ó baja*.

6.<sup>o</sup> La virtud polar parece depender del cambio de temperatura de tal modo que á una temperatura dada una turmalina puede presentarse en tres estados diferentes; á saber: en el estado natural si ha estado mantenida largo tiempo en esta temperatura: con sus polos por calefaccion si ha llegado á ello calentándose: con sus polos por enfriamiento si ha llegado á ello por enfriamiento.

7.<sup>o</sup> M. Hauy ha notado alguna vez una mutacion de polos durante la elevacion de temperatura, y una mutacion contraria durante el enfriamiento: este fenómeno que no se produce siempre parece depender de una diferencia de temperatura entre las capas de la superficie y las capas centrales.

8.<sup>o</sup> Una turmalina calentada ó enfriada solo por uno de sus extremos, parece durante algunos instantes que no posee mas que una sola electricidad en toda su longitud; pero como se ve siempre que se desarrollan las dos electricidades en el mismo tiempo en todos los otros fenómenos eléctricos cualesquiera que sea es natural suponer que en este caso, en apariencia escepcional, los dos fluidos se hallan aun, desigualmente distribuidos en la longitud y espesor de la turmalina y por consiguiente desigualmente perceptibles.

Para verificar todas estas leyes de la electricidad de la turmalina, algunos observadores como Priestley, la hacian calentar y enfriar manteniéndola suspendida de un hilo de algodón, y M. Hauy la ponía encima un pequeño aparato representado en la figura 312.

Existe un gran número de cristales que ofrecen y que manifiestan propiedades eléctricas análogas á la de la turmalina.



## TERCERA SECCION.

### Del Galvanismo.

---

## CAPITULO I.

De la electricidad escitada por contacto.

218. *Descubrimiento del Galvanismo.*— En 1789 Galvani médico y profesor en Bolonia observó un fenómeno singular : con la ocasion de haber preparado ranas para diferentes objetos de indagacion las suspendió por casualidad en un balcon de hierro por medio de garfios de cobre que pasaban entre los nervios lumbares y la columna dorsal : dispuestas asi estas ranas muertas y mutiladas espermentaban vivas convulsiones. Un observador vulgar habria podido notar el hecho , pero se habria fácilmente deslizado á imaginar alguna esplicacion espiciosa , y su espíritu satisfecho se habria ocupado en otra cosa. Galvani fué menos pronto en sus juicios ; dotado de una atencion penetrante , y de una rara sagacidad , halló en este fenómeno un principio nuevo , é hizo salir de él esta rama fecunda de la física , que es en el dia conocida con el nombre de *Galvanismo*. Reconoció desde luego que las ranas cortadas , despellejadas y suspendidas como se ha dicho



no experimentan convulsiones permanentes : para que sus miembros se agiten es menester ó que el viento , ú otra causa accidental , venga á poner sus músculos en contacto con la varilla de hierro que tiene su corchete de cobre. Esta condicion es indispensable , y puede uno asegurarse de ella por la esperiencia : para esto se corta una rana viviente , se le desuella aprisa , y pasando la punta de las tijeras por debajo los dos nervios lumbares que se presentan como hilos blancos por cada lado de la columna vertebral se quitan en dos golpes las dos ó tres vertebrae inferiores : asi los nervios lumbares quedan á descubierto y forman el solo vínculo que une aun los miembros inferiores con los superiores : un hilo de cobre que pasa entre los dos nervios y que les toca va á cogerse con un hilo de hierro encorvado y bastante largo para venir á tocar la articulaciones ó los músculos. En cada contacto las piernas se doblan y se agitan , y esta mitad de rana muerta parece que vuelve á la vida por sus saltos. Estos efectos pueden reproducirse aun despues de algunas horas , pero por lo comun las convulsiones se debilitan con bastante prontitud , y despues de 20 ó 30 minutos no se observan mas que ligeras palpitations en las fibras de los músculos.

Aqui se ve pues un hecho regular , constante y bien caracterizado , del que se conocen las condiciones y que puede reproducirse á voluntad. Estableciendo este punto fundamental es como Galvani ha abierto un nuevo camino , y ha distinguido las conmociones de que se trata de los movimientos vagos y convulsivos , que se observan á menudo en los insectos , los reptiles y los peces. Preocupado en algun sistema sobre el fluido nervoso , ó un fluido vital , Galvani no tardó en imaginar una esplicacion del fenómeno el que estuvo en relacion con las ideas del momento : las conmociones de la rana , dijo , son escitadas por un fluido que pasa de los nervios á los músculos por medio de la comunicacion exterior que se establece entre ellos. Este fluido existe en los nervios , atraviesa el arco conductor , es decir el garfio de cobre y la varilla de hierro , y en el instante del contacto viene á precipitarse contra los músculos , y á contraerles á poca diferencia como haria una descarga eléctrica.

Este nuevo fluido fué llamado *fluido galvánico* , y los cuerpos organizados se consideraron con razon á este fluido , como una especie de Botella de Leyden en que los músculos y los nervios eran las dos armaduras.

El ruido de este descubrimiento se difundió pronto por Alemania , Francia é Inglaterra , por todas partes se apresuraban en repetir y variar



los experimentos: el mismo fenómeno escitaba una grande admiracion; pero la esperanza de descubrir en los animados un fluido sutil, un principio de vida daba aun un nuevo ardor á la activa curiosidad de los sábios. Ademas estas ideas parecian en una época de grandes descubrimientos y de grandes reformas; todos los espiritus estaban en movimiento, y como enajenados por el atractivo de la novedad.

Se reconoció al instante una notable analogia entre el fluido galvánico y el fluido eléctrico; esta es que no se obtienen jamás conmociones en las ranas, cuando se establece la comunicacion entre los nervios y los músculos por medio de cuerpos malos conductores de la electricidad. Al mismo tiempo el fenómeno tomó una vasta estension porque se descubrió que se manifestaba en la mayor parte de cuerpos vivientes. Muchas veces tampoco es necesario el desnudar ni los músculos ni los nervios para obtener un efecto muy marcado. Asi puesta una pieza de cobre encima la lengua y otra de hierro debajo se experimenta una contraccion y un sabor ácido ó alcalino en el mismo instante en que las dos piezas se tocan: se hallan tambien personas bastante sensibles para percibir entonces una ráfaga de luz que pasa por delante sus ojos.

Toda hipótesis es buena cuando proporciona hacer descubrimientos y la hipótesis de Galvani tuvo sus momentos de buen suceso; pero para hacerla fecunda era menester admitir consideraciones vagas, datos inciertos; era menester arrojarse á cuestiones complicadas sobre las funciones vitales y sobre los misterios de la organizacion. Estas cuestiones agitadas sin cesar entre los hombres y jamás resueltas empezaban á estar en boga; los mejores espiritus se libraban á ellas, y no se sabe cuantos falsos caminos se habria franqueado al espíritu humano, ni con que ardor se habrian seguido, si un hombre de un genio atrevido no hubiese puesto un término á todas estas vanas tentativas. Este hombre fué Volta. Célebre ya por muchos descubrimientos ingeniosos sobre la electricidad, Volta profesor en Pavia, repetia con una inquieta atencion todos los experimentos de Galvani y de sus discípulos: lleno de entusiasmo por los hechos, no daba mas que una adhesion condicional á las hipótesis; en fin dió con admirable sagacidad en una condicion del fenómeno cuya importancia habia escapado hasta entonces á los mas hábiles observadores. Cuando el arco conductor que establece la comunicacion entre los músculos y los nervios es de un solo metal, la contraccion es siempre poco sensible; al contrario es siempre viva y fuerte cuando el arco conductor está com-



puesto de dos metales. El experimento está representado en la figura 335; la parte *z* del arco es de zinc, y la otra *c* es cobre: importa que los metales sean limpios y bien tersos por el punto en que tocan la rana, y particularmente en el punto en que se tocan entre sí. Puesta esta condicion Volta deduce la siguiente consecuencia. Es cierto, dice, que hay fluido en movimiento en este experimento: pero la rana no es una botella de Leyden, el fluido que la agita no se halla ni dentro sus músculos ni dentro sus nervios; se halla pues en los metales; se desarrolla por su contacto y no es otra cosa que fluido eléctrico ordinario. Una idea tan contraria á todo lo que se conocía entonces sobre las propiedades eléctricas y sobre la propiedad de los metales no podia ser admitida sin oposicion: es cierto que la hipótesis de Galvani estaba olvidada; no producía hechos nuevos, pero tenía la ventaja de explicar todos los hechos conocidos y de establecer entre ellos una relacion seductora. Las opiniones se dividieron. ¿A qué sirven los dos metales decían los partidarios de Galvani, si no es para establecer una comunicacion mas completa entre los músculos y los nervios y para dar al fluido un paso mas libre? ¿A qué podrian servir, respondian los partidarios de Volta sino se hubiese de hacer otra cosa que establecer comunicacion; no sería por ventura suficiente un solo metal? Por una y otra parte se tentaban nuevos experimentos, puede ser tanto para sostener su opinion como para sujetarla á la prueba; porque hay tambien en las discusiones científicas una especie de conviccion prematura por la que uno se deja arrastrar á menudo. Galvani sin negar la eficacia de los dos metales procuraba demostrar que un solo metal escita contracciones, y en efecto una rana preparada y puesta encima un baño de mercurio experimenta palpitaciones muy sensibles; las experimenta tambien cuando á la vez se tocan los músculos y los nervios con plomo muy puro ó con otro metal en el que la análisis química nada descubre de extraño. Lejos de contrariar estos fenómenos, el mismo Volta los anunciaba, y de ellos deducia pruebas á favor de su opinion. Es cierto que un solo metal obra, pero frotad su estremidad con otro metal y obrará aun con mas energia. Las particillas imperceptibles que se pegan en él le dan una suficiente heterogeneidad: al contacto del metal y de estas particillas extrañas es á quien se debe la electricidad escitada. Lo que es homogéneo por la análisis química no es absolutamente homogéneo; y ademas si el arte ó la naturaleza pudiesen darnos un metal de una pureza perfecta, este metal obraría aun; desde que toca los músculos



ó los nervios hay heterogeneidad en el punto de contacto, y por consiguiente electricidad producida. En fin la substancia de los músculos y de los nervios es bastante diferente entre sí para dar electricidad cuando está en contacto; y en fin doblando los músculos crurales sobre los nervios lumbares se obtienen palpitaciones sensibles, particularmente si la rana es preparada rápidamente.

219. *Pruebas directas del desarrollo de electricidad por contacto.*

—La idea del desarrollo de la electricidad por el contacto de cuerpos heterogéneos no se acreditaba mas que lentamente, la severidad de las teorías físicas reclamaba pruebas que fuesen mas directas y decisivas, y Volta no tardó largo tiempo en producirlas. Un aparato que habia inventado algunos años antes le sugirió los medios; este es el condensador que se ha descrito precedentemente y que está representado en la figura 320.

El experimento se hace del modo que sigue; despues de haberse asegurado que el condensador guarda bien el fluido que se le da, y despues de haberse puesto en estado natural se establece con los dedos mojados comunicacion entre su platillo superior y el suelo: al mismo tiempo una plancha de zinc, que comunica tambien con el suelo se pone en contacto con el platillo inferior: un solo instante es suficiente, se quitan las comunicaciones, se levanta el disco superior y se observa una divergencia sensible en las laminillas de oro. ¿De dónde viene esta electricidad? Es evidente que no ha podido escitarse sino en el contacto del cobre con la lámina de zinc; aqui es en donde una fuerza particular ha ejercido su accion para separar los fluidos naturales y ponerlos en movimiento: el fluido vítreo que ha hecho pasar al zinc se ha derramado al suelo; el fluido resinoso que ha impelido contra el cobre del platillo inferior se ha acumulado en él por disimulacion obrando contra el fluido natural del platillo superior; y este platillo, una vez quitado, toda la electricidad resinosa, disimulada en el platillo inferior, se esparce libremente, pasa á las láminas y produce la divergencia que se observa.

Substituyendo á la lámina de zinc una lámina del mismo metal que el platillo no se produce efecto alguno, pero todos los demas metales producen divergencia en las láminas; el plomo, el estaño, el hierro, el bismuto, el antimonio, toman como el zinc, la electricidad vítrea, y dan al platillo la electricidad resinosa; al paso que el oro, la plata, el palladium y la platina producen un efecto contrario, toman una carga resinosa y dan al cobre del platillo una carga vítrea.



Estos experimentos son decisivos, pero no dan aun idea completa de la fuerza que desarrolla la electricidad tal como se debe tener; porque se podria suponer que obra solo en el instante del contacto, y que puede ser que derive de la frotacion ó de la presion que se ejerce entonces entre las superficies metálicas. Para quitar toda duda con relacion á esto, Volta tuvo la ingeniosa idea de hacer una *plancha doble* (fig. 336) cuyas dos mitades la una de zinc y la otra de cobre se hallan soldadas en la juntura *ss'*. Pero tomando el zinc de esta plancha con la mano, y tocando con su cobre el platillo inferior del condensador mientras que su platillo superior comunica con el suelo, se obtiene la misma divergencia en las láminas que si el zinc hubiese tocado inmediatamente al cobre del platillo. Por lo que en la plancha doble despues de años de contacto la fuerza obra aun entre el zinc y el cobre como si estos dos metales empezasen á tocarse en aquel mismo instante.

220. De la fuerza *electro-motriz*.— Esta nueva fuerza que se ejerce entre las substancias heterogéneas es lo que se llama fuerza *electro-motriz*. Esta nace por el contacto, reside en la superficie de contacto, y allí obra para descomponer la electricidad natural separando sin cesar los dos fluidos, haciendo pasar el vítreo sobre el uno de los cuerpos, y el resinoso sobre el otro. Asi la plancha doble (fig. 336) hallándose aislada es imposible que esté jamás en estado natural.

Ved aqui los principales caracteres de esta fuerza.

Produce la descomposicion de los fluidos naturales, é impide su composicion: por el primer efecto el fluido vítreo es repelido contra el zinc y se difunde por toda su estension en virtud de su propia repulsion; al paso que el fluido resinoso es tambien repelido y dispersado sobre el cobre. Por el segundo efecto estos fluidos contrarios están mantenidos en presencia el uno á la derecha, el otro á la izquierda del contacto, sin poder pasar esta superficie y componerse en virtud de su mútua atraccion. Para tener una idea mas precisa de esta resistencia, concibase un momento en que no haya descomposicion en el contacto, y que se dé un poco de fluido vítreo al zinc; en este caso el fluido no pasaria al cobre; la fuerza electro-motriz seria como un obstáculo capaz de detenerle.

Como obstáculo á la recomposicion la fuerza electro-motriz tiene un límite, es decir que no es capaz de detener cualesquiera cargas de fluido vítreo sobre el zinc, ó de fluido resinoso sobre el cobre. Desde que estas cargas adquiridas naturalmente por el contacto ó dadas ar-



tificialmente llegan á una cierta tension pueden separarse de la superficie de contacto para difundirse por los lados ó para volverse á combinar; pero en este caso la fuerza electro-motriz detiene aun todo el que puede detener. Se admite que representando en general por  $+t$  la tension del fluido vítreo que se halla encima el zinc y por  $-t'$  la tension del fluido resinoso que se halla en el cobre, la diferencia  $t-t'$  de las dos tensiones es una cantidad constante, cualesquiera que sean las cargas del fluido vítreo ó resinoso. Si el cobre estuviese cargado de vítreo como el zinc su tension seria en este caso representada por  $+t'$  y la diferencia  $t-t'$  seria aun la misma. Esta diferencia de dos tensiones es la que se llama *tension máxim*, porque en efecto es el máxim de lo que la fuerza motriz puede detener y mantener para impedir el equilibrio ordinario.


La fuerza motriz como causa de descomposicion es instantánea y permanente; permanente porque está siempre dispuesta á obrar desde que la tension no es lo que debe ser para el equilibrio galvánico: é instantánea porque no necesita mas que un instante inapreciable para poner esta tension en su máxim. Se reconoce que esta tension es muy débil porque una lámina de zinc no carga el condensador cuando está aislada al paso que le carga en un instante cuando ella comunica con el suelo.

Las tensiones eléctricas desarrolladas y mantenidas por la fuerza electro-motriz no son las mismas en el contacto de todos los cuerpos. Los metales son buenos *electro-motores*, aunque se observan entre ellos diferencias muy notables, y se dice en general que las otras substancias no son electro-motrices, porque á la verdad no producen por medio del condensador mas que resultados insensibles: pero cuando se las experimenta por medio de instrumentos mas delicados se vé que desarrollan tambien electricidad por contacto: solo si las tensiones que producen son incomparablemente mas débiles que las de los metales.

Asi la fuerza electro-motriz descubierta por Volta es una fuerza universal que se ejerce en el contacto de todas las moléculas de las substancias heterogéneas, que descompone sin cesar los fluidos eléctricos, y que dá origen á nuevas fuerzas cuyos efectos se hacen sentir en la materia ponderable. Pero, los elementos que componen la tierra, sea en su superficie, sea en diferentes profundidades están mezclados y confundidos de tal modo que por todas partes hay heterogeneidad entre las particillas que se tocan: ; cuántas substancias diferentes se



hallan en contacto en los mas pequeños seres organizados, y cuantas reacciones eléctricas deben desplegar en ellos! La tierra vegetal, las piedras, las rocas, las lavas, las capas geológicas son por ventura otra cosa que una agregacion de principios diferentes entre los que la fuerza electro-motriz debe obrar del mismo modo con mas ó menos intensidad? Se vé de un solo golpe de vista todo lo que hay de fecundo en este descubrimiento, y veremos que los primeros observadores no se han engañado en sus esperanzas cuando han creido que los principios del galvanismo serian la llave de una multitud de fenómenos.





## CAPITULO II.

### De la pila de Volta.

#### 221. Principios sobre los que apoya la construccion de la pila. —

La pila se construye con tres cuerpos diferentes, dos son metálicos y buenos electro-motores, y el tercero es no metálico, buen conductor y muy debilmente electro-motor.

Los metales que se emplean mas ventajosamente son el zinc y el cobre, el primero forma los *elementos positivos* de la pila; el segundo los *elementos negativos*; dos elementos reunidos ó soldados juntos, el uno positivo y el otro negativo, se llama *par* ó una *pareja*.

El cuerpo no metálico es el que se llama *conductor*: tan pronto es una *rodaja húmeda*, es decir una rodaja de paño ó de carton embebido de agua pura ó de alguna disolucion ácida, alcalina ó salina, tan pronto es la disolucion misma; otras veces es un cuerpo seco, y entonces la pila es lo que se llama *pila seca*.

Concibamos una plancha de cobre ó un elemento negativo que comunique con el suelo por un hilo conductor no metálico representado por *f* (*fig. 337*): pongamos encima su superficie superior una plancha de zinc de la misma dimension: en el instante del contacto la fuerza electromotriz ejerce su accion, el fluido resinoso que despliega pasa al cobre, y marcha al suelo: el fluido vítreo al contrario pasa al zinc y se acumula hasta que haya adquirido la tension maximum que la fuerza electromotriz es capaz de retener; para esto no se necesita mas que un momento inapreciable: esta tension, ó mas bien el espesor eléctrico que la produce, siendo tomada por unidad, diremos que el cobre se halla en el estado natural al paso que el zinc está cubierto de un espesor *s* de electricidad vítreo: si por algun medio fuesemos á quitar al zinc una parte del fluido que le cubre ya no tendria el espesor *s* que debe tener; la fuerza electromotriz le reproduciria al instante por un nuevo desarrollo, el que repararia exactamente la pérdida, y por



un igual desarrollo de resinoso que se derramaria por el suelo. A cada porcion de fluido que se acabaria de quitar al zinc habria una reparacion súbita para reproducir sin cesar el espesor  $s$  que es el estado de equilibrio galvánico, y si se estableciese por ejemplo la comunicacion del zinc con el suelo por un *hilo no metálico* su fluido vítreo se derramaria sin cesar y seria tambien reparado sin cesar: al mismo tiempo el fluido resinoso desarrollado sobre el cobre se derramaria de la misma manera; de tal modo que si se aproximasen el uno al otro los dos hilos no metálicos que tocan el zinc y el cobre, los fluidos se recompondrian en su punto de contacto, y se tendria una *circulacion eléctrica* continua: los fluidos se separarian en el contacto de los metales, y se recompondrian en el contacto de los hilos conductores que comunican con ellos.

Sentado esto dejemos que solo el cobre comunique con el suelo y coloquemos encima el zinc una rodaja húmeda; es evidente que tomará electricidad vítreo del zinc; pero que siendo la pérdida reparada al instante, el espesor será  $s$  en la rodaja y en el zinc como era en el principio.

Sucedirá tambien lo mismo si ponemos una plancha de cobre encima la rodaja húmeda porque no hay fuerza electro-motriz entre estos cuerpos.

Pero si ponemos una segunda plancha de zinc encima esta segunda de cobre el fenómeno será mas complicado, y aqui es en donde se manifiesta el verdadero principio de la acumulacion de la electricidad en la pila. Supongamos por un momento que la acumulacion de la fuerza electromotriz esté suspendida en su segundo par: en este caso es evidente que su segundo zinc tomara un espesor  $s$  de fluido vítreo como lo han hecho la rodaja húmeda, y la plancha de cobre, y desde que la fuerza electromotriz obrará este espesor pasará á ser igual á 2 sobre este segundo zinc, porque debe esceder de 1 al del cobre con que está en contacto: al mismo tiempo el fluido resinoso que se habrá desarrollado en el cobre estará destruido por el fluido vítreo que se halla en él y sucederá en el primer par un nuevo desarrollo por el que el primer zinc volverá al espesor 1, como tambien la rodaja húmeda y el segundo cobre. Por medio de este arreglo debe pues tener para su equilibrio un espesor de fluido vítreo doble del que se halla en el primero.

Se ve que por el mismo principio la segunda rodaja húmeda y la tercera cobre tendrán el mismo espesor 2, al paso que el 3<sup>er</sup>. zinc ten-



drá un espesor 3, el 4.<sup>o</sup> zinc un espesor 4, el 5.<sup>o</sup> un espesor 5, etc...; el 10.<sup>o</sup> un espesor 10..., el 100.<sup>o</sup> un espesor 100, y el 1000.<sup>o</sup> un espesor 1000.

Asi nada limita el espesor eléctrico que se puede acumular en el extremo de una semejante pila pues que nada limita el número de elementos que se pueden sobreponer; y siendo el primer zinc, como se ha visto un manantial inagotable de electricidad vítrea cuyo espesor es uno, el milésimo zinc es un manantial inagotable cuyo espesor es igual á 1000. Tal es la admirable invencion por medio de lo que Volta ha llegado á desarrollar y á acumular un espesor eléctrico indefinidamente creciente sin frotacion ni presion, y si por el solo poder del contacto de ciertos cuerpos dispuestos en un órden determinado. La pila que acabamos de construir se llama *pila en columna*: continuaremos á servirnos de ella para demostrar muchas propiedades notables que son comunes á todas las pilas de las que veremos despues la construccion.

222. *De la pila aislada.*— El extremo de la pila que se termina por una plancha de zinc se llama el *extremo zinc*, *extremo positivo*, ó el *polo positivo*; el extremo que termina por cobre se llama *extremo cobre*, *extremo negativo*, ó *polo negativo*. En la disposicion de que acabamos de hablar el polo negativo comunicaba con el suelo, el polo positivo estaba aislado, y sobre toda la pila habia fluido vítreo cuyo espesor iba aumentando desde el primer zinc en que era 1 hasta al centésimo zinc en que era 100, suponiendo que la pila tuviese cien pares. Concibamos otra pila del todo semejante con la sola diferencia que el polo positivo comuniqué con el suelo mientras que el polo negativo queda aislado; es evidente que habrá por toda ella fluido resinoso cuyo espesor irá aumentando desde el primer cobre, (es decir desde el que toca al zinc que comunica con el suelo) en que será 1 hasta el centésimo cobre en que será 100. Si entretanto ponemos estas dos pilas frente por frente interponiendo solo una rodaja húmeda entre los dos polos que comunican con el suelo no tendremos mas que una sola pila de 200 pares en que cada mitad conservará el equilibrio eléctrico que tenia al principio: asi el medio será el estado natural, aun despues de haber suprimido los hilos de comunicacion; desde este punto se tendrá por un lado electricidad vítrea, por el otro electricidad resinosa. Estas electricidades no podrán volverse á reunir y sus espesores siempre en aumento por diferencias iguales en cada par, serán 100 en cada polo. Si se viene en seguida á turbar este equilibrio



tomando electricidad en uno de los polos, el cero, ó el punto que se halla en estado natural se dislocará por un instante: el polo tocado tendrá un espesor menor que 100, y el otro un espesor mayor; pero disminuyendo bien pronto la pérdida por el aire con mayor rapidez el espesor eléctrico del polo mas fuerte el cero volverá al medio, y será restablecido el equilibrio. Asi en toda pila aislada, el arreglo definitivo de la electricidad es tal que el medio se halla en estado natural mientras que las dos mitades están cargadas de fluidos contrarios, y aumentando de 1 el espesor de estos fluidos pasan de un par al que le sigue. Estos resultados pueden verificarse fácilmente por medio de experimentos, con un condensador de tafetan, y un electroscopo de esferas de corazon de sauco.

223. *De la pila en actividad.* — Siendo los polos de la pila aislada manantiales *indefinidos* de electricidades contrarias, es claro que si se pone cada uno de ellos en comunicacion con un hilo de metal el hilo tomará fluido del polo con que está en contacto, y se tendrán asi dos conductores el uno positivo y el otro negativo los que poniendose enfrente deberán dar una recomposicion *continua*. Esto es lo que representa la figura 338: los dos hilos (que se nombran alguna vez los *dos polos* de la pila) hallándose á una pequeña distancia se ve salir una chispa, otra la sigue al instante, y despues otra y asi sucesivamente: es una corriente de fuego continua; es una bateria inagotable que descarga continuamente sin ser jamas descargada.

Quando se ponen los hilos conductores en contacto inmediato y que se cierra asi el circuito de la pila, las chispas desaparecen, pero se destruyen todos los efectos eléctricos: los fluidos siguen desarrollándose en todos los pares, entre todos los elementos y no cesan de venir á recomponerse en todos los puntos de los hilos conductores que reunen los dos polos de la pila. Asi, por afuera, todo parece inmóvil, y por dentro todo está en actividad y movimiento. Una de las pruebas mas admirables de esta rápida circulacion de la electricidad es el fenómeno que presenta un hilo metálico muy fino que se interpone entre los conductores para cerrar el circuito: si este hilo es un poco largo se calienta subitamente, si es mas corto se pone rojo; y mas corto aun pasa á rojo blanco; entonces segun la naturaleza del metal entra en fusion y cae en gotas, arde con brillantez, ó queda inalterable, persistiendo en este estado de incandescencia durante todo el tiempo que la pila se halla en actividad.

El agua, los ácidos, las sales y todos los cuerpos por poco conduc-



tores que sean experimentan efectos notables cuando se colocan en la corriente de la pila, es decir cuando se les dispone entre los polos de modo que formen una parte del circuito y que su substancia sea atravesada por los fluidos contrarios como los hilos metálicos de los experimentos precedentes; pero antes de estudiar sus efectos importa formarse una idea de lo que constituye la fuerza de la pila.

224. *Fuerza de la pila.* — Se ha de distinguir en la pila la *fuerza física* y la *fuerza química*. La primera depende de la cantidad de electricidad que puede dar la pila en un instante, y la segunda depende de la tension con la que esta electricidad marcha de un polo á otro. La cantidad de electricidad que una pila puede dar cada instante es proporcional á la magnitud de los elementos cuando todas las demas circunstancias son las mismas. Concibamos en efecto dos pilas del todo semejantes y que dan por consiguiente la misma cantidad de electricidad; es evidente que si se disponen la una al lado de la otra y se reunen los hilos que unen sus polos pasará por estos hilos dos veces tanta electricidad como pasaba por uno solo. Asi los dos aparatos no constituirán mas uno teniendo elementos dobles en superficie y dando una cantidad de electricidad doble. Aumentando indefinidamente la magnitud de los elementos sin mudar su número, se puede pues aumentar indefinidamente la cantidad de electricidad dada por la pila sin mudar su tension.

La cantidad de electricidad aumenta tambien á medida que el conductor húmedo es mas perfecto, pero disminuye cuando su espesor aumenta, porque la electricidad experimenta mayor resistencia para pasar de un elemento al que sigue.

La tension de la pila que es como se ha visto proporcional al número de elementos cuando el equilibrio eléctrico está establecido, no puede dejar de tener un influjo sobre la naturaleza de la corriente que se desarrolla tan pronto como los dos polos están puestos en comunicacion; porque la corriente no es mas que la tendencia al equilibrio. Asi cuando el conductor húmedo es bastante perfecto, las pilas que tienen un grande número de elementos, y por consiguiente una grande tension en el estado de equilibrio, tienen tambien una grande tension en el estado de movimiento, es decir que las corrientes que producen pueden vencer resistencias de mas á mas grandes á medida que el número de elementos aumenta.

Se verá que la corriente puede producir *efectos físicos*, *efectos fisiológicos* y *efectos químicos*: los efectos físicos no dependen mas que



de la cantidad de electricidad, al paso que los efectos quimicos y fisiológicos dependen esencialmente de la tension. Asi una pila puede ser muy *fuerte* físicamente y muy *debil* quimicamente y *vice versa*.

225. *Diferentes disposiciones de la pila.* — La pila de *columna* de que se ha hablado hasta al presente, ofrece grandes inconvenientes en la práctica: las rodajas inferiores comprimidas por el peso de los elementos superiores se secan con prontitud y el líquido que cae establece entre los pares comunicaciones parciales que disminuyen mucho el efecto total.

La *pila á intervalos* ha estado en uso largo tiempo; esta se vé representada en las figuras 339 y 340. Los elementos son rectangulares y soldados el uno con el otro para formar un par: todos los pares están dispuestos verticalmente y paralelos en una caja de madera *bb'*, cuyas paredes interiores están cubiertas de un mastil no conductor. El intervalo de dos pares forma un pequeño intervalo en el que se pone el agua acidulada: esta lámina de agua de dos ó tres líneas de espesor es la que reemplaza la rodaja húmeda de la pila ó columna; pero es menester tener gran cuidado que los diferentes intervalos no tengan entre sí comunicacion ni por los bordes ni por la arista superior de los pares. Reuniendo muchas pilas semejantes á la que está representada en la figura se compone una *bateria Galvánica* ó *Voltaica*. La reunion puede hacerse de dos modos. Las pilas que tienen por ejemplo cien pares, cada uno de 1 decímetro cuadrado, si se reúnen dos haciendo comunicar los dos polos negativos entre sí, y tambien los polos positivos se tendrá una bateria de *cien* pares, que tienen cada uno *dos* decímetros cuadrados; esta es la fuerza física que será doble; al contrario si se las reúne haciendo comunicar el polo positivo de la primera con el negativo de la segunda, se tendrá una bateria de *doscientos* pares que cada uno tendrá un decímetro cuadrado, esta es la fuerza de tension ó la fuerza quimica que será doble.

La pila de *Wollaston* está representada en las figuras 341, 342, 346, 347 y 348. Para indicar mejor su construccion examinaremos solo dos pares representados en seccion (fig. 341) y de cara (fig. 342): *cs* es el primer cobre, y *zc* el primer zinc visto por su espesor: están soldados en *s*: *c's'* es el segundo cobre, y *s'z'* el segundo zinc: *v* y *v'* son vasos llenos de agua acidulada: la electricidad vítreo pasa del primer zinc al segundo cobre por la capa de agua que les separa; pasa del mismo modo del segundo zinc al tercer cobre y asi sucesivamente. Esta disposicion ofrece particularmente dos grandes ventajas: pri-



meramente el fluido que se halla sobre el zinc puede salir de él por todos los puntos de su superficie: en segundo lugar no hay mas que una capa líquida muy delgada que atravesar para trasportarse sobre el cobre, y esta capa que se halla prontamente alterada en la pila á intervalos puede aqui renovarse mezclándose con el liquido del vaso.

Un solo par de esta especie que tenga solo algunas pulgadas cuadradas de superficie es capaz de producir fenómenos admirables: puede por ejemplo poner rojo un hilo de platina. Este experimento está representado en la figura 344; *cs* es el cobre, *sz* el zinc; la cubierta *c'c'* no sirve mas que para favorecer la conductibilidad; un pequeño hilo de platina está tendido de *p* á *p'*, cuando se sumerge este par por medio de su mango *m* en un vaso de agua fuertemente acidulada, el hilo de platina se pone rojo al instante por el solo efecto de la corriente que le atraviesa.

Con una pila de veinte pares dispuesta como la de las figuras 346, 347 y 348 se pueden hacer casi todos los experimentos galvánicos. Se la carga habitualmente con agua que contenga  $\frac{1}{8}$  de ácido sulfúrico y  $\frac{1}{25}$  de ácido nítrico.

La *pila en espiral* no es en realidad mas que una modificacion de la pila de Wollaston: está particularmente destinada á producir grandes cantidades de electricidad sin dar grandes tensiones. Las figuras 349 y 350 representan las disposiciones que he adoptado para la pila de la facultad de ciencias. Encima un cilindro de madera *b* (fig. 349) de tres pulgadas de diámetro y de un pie de largo se arrollan dos láminas la una de zinc y la otra de cobre, las que están separadas por extremos ú orillos de paño *l* unidos por pequeños bramantes cuyo espesor es un poco menor que el del orillo. Se forman asi pares cuyos dos elementos tienen cada uno cincuenta ó sesenta pies cuadrados de superficie. Uno solo de estos pares (fig. 350) es capaz de producir efectos físicos muy enérgicos, y cuando se reúnen solo veinte pares semejantes, se tiene una bateria de una fuerza extraordinaria para calentar y liquidar instantaneamente no solo hilos sino verdaderas barras metálicas.

226. *Efectos físicos de la pila.* — Las conmociones que produce la electricidad no son ni menos vivas ni menos temibles que las de las baterías ordinarias: su intensidad depende particularmente del número de pares y por consiguiente de la fuerza de tension. El epidermis es un mal conductor, y se puede con las manos secas establecer la comunicacion entre los polos de una pila de 20 á 30 pares sin esperi-



mentar el menor sacudimiento; pero con las manos mojadas ó solo húmedas se recibe el choque instantaneamente: la corriente que se establece entonces en las membranas continua agitándolas tanto tiempo como dura el contacto.

En los primeros tiempos del Galvanismo se hicieron numerosos experimentos acerca los efectos terapéuticos de las corrientes de la pila: se ha ensayado particularmente el curar las neuralgias, la gota, los reumatismos, las parálisis, etc., dirigiendo las corrientes como las descargas eléctricas por medio de armaduras metálicas dispuestas por una y otra parte de los órganos afectados, y se aumentaba poco á poco el número de pares de la pila para hacer las conmociones mas vivas y mas eficaces. Despues se ha llegado á dar mucha mayor precision á los aparatos y á graduar su fuerza de un modo cierto; al mismo tiempo se han obtenido efectos mas seguros, y en el dia parece constante que ciertas afecciones ceden al tratamiento galvánico cuando se emplea con discrecion.

En los cuerpos recientemente muertos una corriente enérgica escita aun conmociones y movimientos extraordinarios: se diria que toda la organizacion se agita y que hace increíbles esfuerzos para reanimarse, pero estas violentas convulsiones cesan con la corriente y todo vuelve á la inercia de la muerte.

Con todo en una série de experimentos que he hecho con MM. Magendie, Andral y Roulin acerca la irritabilidad producida por las corrientes eléctricas, hemos reconocido que animales asfixiados son prontamente reanimados cuando se les coloca entre los dos polos de la pila.

Varias veces hemos reconocido tambien que la corriente escita movimientos peristálticos muy notables en muchos vasos.

La conmocion es sin duda el mas simple de los fenómenos fisiológicos: es producida por la electricidad ordinaria como por la electricidad de la pila, y con todo nada se sabe hasta al presente acerca su verdadera causa. ¿Cuáles son las substancias orgánicas que el fluido afecta con preferencia? ¿Cuáles son las modificaciones que imprime á sus moléculas individuales, ó al sistema que componen? Esto sin duda lo darán á conocer experimentos ulteriores. Las substancias inorgánicas son como vamos á verlo calentadas por la corriente ó descompuestas químicamente; y es probable que en los cuerpos vivientes no es ni el uno ni el otro de estos efectos el que produce la conmocion.

M. Marianini ha probado con respecto á esto un hecho notable; es-



te es que cuando la corriente eléctrica se propaga en los nervios *en el sentido de sus ramificaciones* produce una contraccion muscular en el momento en que penetra y una sensacion en el momento en que cesa : y que al contrario cuando se propaga en *sentido inverso de sus ramificaciones* produce una sensacion mientras subsiste, y una contraccion en el momento que cesa. (*Anales de fisic. y de quimic. t. 40. p. 225*).

227. *Efectos fisicos de la pila.* — Las corrientes pueden producir como las descargas de las baterías ordinarias, calor, luz, y magnetismo.

Cuando un hilo metálico muy fino y bastante corto establece comunicacion directa entre los polos de la pila, se calienta, pasa á rojo, rojo blanco, y aun á veces se funde, y se volatiliza.

El hierro, el acero se licuan fácilmente, y en este caso resplandecen con una brillantez que deslumbra.

Las láminas delgadas de oro son volatilizadas y como no se puede tocar un punto de ellas sin reducirlas á vapor, se establecen numerosas rupturas entre las que se vé brillar una série de pequeños rayos de un color verde muy vivo.

Las hojas de plata presentan á poca diferencia los mismos fenómenos.

Las hojas de estaño arden con menos brillantez, caen en pequeños globos rojos que dan origen á penachos suaves semejantes á copos de tela de araña.

La platina en esponja, y todos los metales en hojas delgadas ó en limaduras ofrecen algunas particularidades curiosas dependientes de su naturaleza, de su fusibilidad y de su afinidad para el oxigeno.

Uno de los experimentos mas curiosos, sobre los efectos de la luz y del calor producidos por la pila, es el que se debe á sir H. Davy, y del que tendremos ocasion de hablar en el electro-magnetismo. Puede disponerse del modo que sigue : en una grande campana ó en un globo de 10 á 12 pulgadas de diámetro se adaptan dos cajas con cuero, opuestas la una á la otra por las que se hacen pasar dos fuertes varillas que puedan aproximarse hasta al contacto, ó alejarse á voluntad : en el extremo de cada varilla se fija un pequeño cono de carbon fuertemente calcinado y apagado en el mercurio ; pero es menester que el carbon toque en el metal por una grande superficie. Entonces se hace el vacío en el aparato, se avanzan las varillas de modo que las puntas de los conos se hallen á una pequeña distancia y se establece la



comunicacion entre los dos polos de una fuerte pila: luego la corriente traspasa el espacio que separa los carbones, calienta las puntas y las pone de modo que deslumbran de luz; nada es comparable á la brillantéz que toman. Desde este instante se pueden apartar las varillas gradualmente, la corriente no deja de atravesar el vacío que las separa y de este modo se produce un hacecillo brillante que llena todo el aparato. El fenómeno no se manifiesta con menor brillantéz en el aire enrarecido á algunos centímetros de presión, pero en este caso el carbon se consume en parte.

228. *Efectos químicos de la pila.* — El primero y el mas notable de los efectos químicos de la pila en el principio de este siglo (30 abril de 1800) por MM. Carlisle y Nicholson. Estos dos físicos para repetir los esperimentos de Volta habian construido aprisa una pila de columna con piezas de moneda, planchas de zinc y rodajas de carton. Despues de algunos ensayos habiéndose hecho sentir el olor particular del hidrógeno, Nicholson tuvo la feliz idea de hacer pasar la corriente por un tubo lleno de agua, por medio de dos hilos de metal que se aproximaban á una pequeña distancia. Al instante pareció el hidrógeno en pequeñas ampollas al rededor del *hilo negativo*, y el *hilo positivo* se oxidaba visiblemente. Asi los dos elementos del agua fueron en fin separados; porque Cavendish habia ya compuesto agua por medio del oxígeno y del hidrógeno, pero hasta entonces todos los esfuerzos habian sido impotentes para descomponerla.

El aparato que nos sirve en el día para la separacion de los elementos del agua está representado en la figura 345. Se compone de un vaso con pie, cuyo fondo está atravesado por dos hilos de platina *f, f'* los que no deben tocarse; las campanas *o* y *h* vueltas hácia abajo y llenas de líquido cubren cada uno de los hilos. Al instante que se establece la comunicacion con los polos de la pila se separan las ampollas de gas en abundancia; el oxígeno puro sube siempre por la campana que cubre el hilo positivo y el hidrógeno siempre por la que cubre el hilo negativo. Es evidente que las dos campanas deben comunicar entre sí por el líquido intermedio, porque la corriente no puede atravesar el vidrio.

El agua destilada y perfectamente pura se descompone lentamente; pero desde que se le mezcla una gota de un ácido cualquiera, ó algunos átomos de sal, ó algunas partecillas de alguna substancia que aumente su conductibilidad las ampollitas de gas se separan con viveza, y no son menester mas que 2 ó 3 minutos para ver un centímetro



cúbico de oxígeno en la campana positiva, y dos centímetros cúbicos de hidrógeno en la campana negativa.

Dos átomos de hidrógeno en uno de los polos, y un átomo de oxígeno en el otro, ved aquí un fenómeno sorprendente, el que por largo tiempo ha ejercitado la sagacidad de los físicos; porque en las descomposiciones ordinarias los elementos se desunen y no se alejan el uno del otro, al paso que aquí hay á la vez separacion y trasporte de los elementos separables. Se han hecho numerosas tentativas para conocer la molécula de agua que se descompone, ó para detener en el camino los átomos gaseosos antes que hubiesen llegado á los hilos de metal desde los que la electricidad pasa al líquido; pero nada ha sido suficiente. Por ejemplo, cuando se pone agua en dos vasos en los que se sumerge el hilo positivo en el uno y el negativo en el otro, estableciéndose en seguida la comunicacion entre los vasos por un cuerpo conductor á fin de que se establezca la circulacion eléctrica, se observan fenómenos singulares: si el conductor intermediario es un metal, el agua es aun descompuesta como en lo ordinario, pero en cada vaso separadamente: si es un cuerpo húmedo algunas veces tambien la descompone como un metal, pero por lo comun la descomposicion se hace sin saber en donde; el oxígeno parece solo en uno de los vasos, en el positivo, y el hidrógeno solo en el otro. Esto es lo que sucede por ejemplo, cuando se establece la comunicacion introduciendo un dedo en cada vaso. En este caso parece se está en derecho de concluir que el uno de los elementos gaseosos ha debido atravesar el cuerpo para ir al polo en que se manifiesta. Del mismo modo cuando se establece la comunicacion con un pedazo de cristal, parece necesario que el uno ó el otro de los gases pase al través del cristal, porque cada uno de ellos no se desenvuelve sino en el uno ó en el otro de los hilos metálicos.

El Sr. Grothus ha dado de estos fenómenos y de todas las demas descomposiciones químicas que produce la corriente una esplicacion que ha sido admitida por todos los físicos, no solo porque es ingeniosa sino tambien porque parece del todo conforme á la verdad. Conceibamos un hilo de moléculas 1, 2, 3, 4, etc. (fig. 351) que forman una especie de cadena recta ó curva la que une el hilo positivo  $f$  al hilo negativo  $f'$ : la electricidad positiva de  $f$  obrará por influencia sobre la molécula 1 y la *girará* para atraer el oxígeno que es *electro-negativo* y para repeler el hidrógeno que es *electro-positivo*: la molécula 1 obrará de la misma manera contra la molécula 2 y asi sucesivamen-



te; en el otro extremo de la cadena se producirá la misma disposicion, y desde que la tension eléctrica será bastante fuerte, el oxígeno de la molécula 1 arrastrado por la atraccion, será como arrancado de las moléculas de hidrógeno á las que está unido y vendrá al polo, mientras el hidrógeno hecho libre era trasportado al oxígeno de la molécula 2 para combinarse con él, dando libertad al hidrógeno de esta molécula, el que se irá á su turno á tomar el oxígeno de la molécula 3, y asi sucesivamente. En el otro polo se producirán fenómenos análogos en sentido inverso, y habrá asi en un mismo instante una série de descomposiciones y recomposiciones sucesivas. Esto que sucede en una multitud de moléculas pasa en todas las filas que unen los dos polos; y de aqui la multitud de átomos gaseosos que han pasado á ser libres, y la abundancia de ampollas que se forman y que se separan.

Estos movimientos vibratorios de los últimos elementos de la materia pueden efectuarse en medio de masas sólidas como en medio de los fluidos, y ciertamente, si, como todo parece indicarlo, la esplicacion de M. Grothus es verdadera para la descomposicion de los líquidos, no puede dejar de serlo para la de los sólidos, y de todos los demás cuerpos sobre los que la corriente eléctrica pueda hacer presa.

Los óxidos son reducidos por la pila y descompuestos como el agua; el oxígeno se presenta en el polo positivo y el metal ó la base en el polo negativo. Para los que son fácilmente reducibles, para el óxido de plata, por ejemplo, se puede disponer el experimento del modo que sigue: encima una plancha de platina que comunique con el polo positivo se pone este óxido seco en polvo, al que se le viene á tocar despues con el hilo negativo, sea que el contacto sea permanente, ó que sea accidental y renovado por intervalos se vé luego que parece un pequeño globo de plata en la estremidad del hilo: en el segundo caso el polvo es atravesado por vivas chispas de un hermoso color verde. Los óxidos menos reducibles se han de humedecer ligeramente con agua particularmente cuando están hechos polvo. A la verdad esta agua se descompone en parte pero favorece la conductibilidad, y despues de un cierto tiempo se perciben, segun la fuerza de la pila, pequeños globos ó pequeñas particillas de metal al rededor del hilo negativo.

Durante mucho tiempo se habia supuesto que los alcalis tales como la sosa y la potasa eran cuerpos del todo indescomponibles; pero en 1807 sir H. Davy por medio de una poderosa bateria pudo separar sus



elementos : este descubrimiento fué una grande época para la ciencia. Los alcalis y las tierras fueron colocados en la clase ordinaria de óxidos, y la química tuvo á su disposicion dos nuevos cuerpos metálicos, el sodio y el potasio que son dos de los agentes mas enérgicos que posee. Cuando se ensaya la descomposicion de la potasa por los métodos que se acaban de indicar para los demás óxidos, se percibe al instante que numerosos globulillos parecen en el polo negativo y se inflaman en el aire produciendo chispas de luz. Esto es el potasium que resulta de la descomposicion de la potasa : su afinidad para el oxígeno es tan grande que arde en el agua aun con mayor brillantez que en el aire : asi es que no se le puede conservar sino en el aceite refinado de naphtha ó de petróleo cuyos elementos constitutivos son el hidrógeno y el carbon. El Dr. Seebeck ha dado el medio de recoger con mayor seguridad el potasium en el polo de la pila ; imaginó el formar una pequeña caja con el fragmento de potasa cáustica que se quiere descomponer. Esta cápsula está llena de azogue y puesta encima una lámina de platina que comunica con el polo positivo de la pila : en este caso tocando el mercurio con el polo negativo se efectua la descomposicion : el oxígeno marcha á la platina y se separa mientras el potasium llega al mercurio, y forma con él una amalgama bastante persistente : por la destilacion en el vapor de petróleo se separa despues el mercurio y se obtiene el potasium en estado de pureza.

La cal, la barita y las demas tierras tratadas del mismo modo, sean solas, sean mezcladas con la sosa ó la potasa han dado pruebas nada dudosas de su descomposicion.

Los ácidos se descomponen como los óxidos, y su oxígeno persiste en marchar al polo positivo mientras la base se va al polo negativo.

Todas las sales en fin son tambien descompuestas por la pila pero presentan fenómenos mas variados.

1.<sup>o</sup> Cuando el ácido y la base son dificilmente descomponibles, estos dos elementos son simplemente separados, y el ácido como que participa mas de las propiedades del oxígeno va siempre al polo positivo al paso que la base al polo negativo.

2.<sup>o</sup> Cuando el ácido es fácilmente descomponible no solo es separado del óxido sino que él es tambien descompuesto, ó á lo menos desoxigenado ; y el oxígeno que pierde viene al polo positivo al paso que el radical se va con el óxido al polo negativo.

3.<sup>o</sup> Cuando el óxido es fácilmente descomponible el mismo es reducido ; su metal puro viene al polo negativo, al paso que el oxígeno



se va al polo positivo en donde se combina con el ácido cuando este es capaz de recibir un nuevo grado de oxigenacion.

4.º Si el ácido y el óxido pueden el uno y el otro perder fácilmente su oxígeno, la descomposicion es completa; todo el oxígeno viene al polo positivo y el metal del óxido se va al polo negativo con el radical del ácido.

Estos diferentes fenómenos pueden producirse con sales simplemente humectadas, ó con disoluciones salinas mas ó menos estendidas; en este último caso particularmente el agua es abundantemente descompuesta.

En una sal cuyo ácido no es el ácido fluórico y cuya base no es una de las tierras, ó uno de los alcalis que se descomponen difícilmente, se puede obtener á voluntad la simple separacion del ácido y del óxido ó la reduccion del uno y del otro. Basta para esto emplear una pila muy débil ó una muy poderosa, y como se puede debilitar una pila obligando á la corriente á atravesar un largo espacio mal conductor, se vé que la sola distancia de los hilos podrá determinar el uno ó el otro de los fenómenos. En una pequeña distancia entre el hilo positivo y el negativo, teniendo la corriente toda su energía el ácido será descompuesto y el óxido reducido; en una distancia un poco mayor el ácido, por ejemplo, no será descompuesto; y en una distancia mayor aun el mismo óxido dejará de ser reducido; no habrá mas que una simple separacion de los elementos de la sal.

Los colores vegetales que cambian por la accion de los ácidos y de los óxidos son muy propios para demostrar á la vista esta fuerza descomponente de la pila. Si se toma por ejemplo en un tubo encorvado en forma de  $\bar{V}$  (fig. 345), una disolucion de tintura de tornasol, de col roja, ó de pequeños rabanitos violados y se hace pasar por ellos la corriente por medio de dos hilos de platina *a* y *b*, se percibe despues de algunos instantes, un hermoso color rojo de vino ojo de gallo en la rama positiva, y un color verde en la rama negativa. La sal que constituye el color vegetal es por lo tanto descompuesta; su óxido marchando al polo negativo, hace volver verde todo el liquido vecino, y su ácido al contrario hace pasar á rojo al liquido que toca en el hilo positivo. Estableciendo la comunicacion en sentido inverso se ven desaparecer los colores producidos poco á poco: durante un instante las dos ramas vuelven á tomar su estado natural, y un momento despues se coloran en sentido contrario.

Sir H. Davy se ha aprovechado de las circunstancias notables que



acompañan la descomposicion de las sales para estudiar mas particularmente el admirable fenómeno del transporte. Sentimos el no poder dar aquí mas que un extracto muy reducido de sus importantes indagaciones.

1.º Un vaso que contenga una disolucion salina y otro que contenga agua destilada, comunican entre sí por medio de filamentos húmedos de amianto: el hilo positivo de la pila se introduce en el primero y el negativo en el segundo, y la descomposicion se manifiesta: si el óxido no está reducido marcha por el amianto, atraviesa el agua y se viene al polo negativo: si es reducido es el metal el que recorre este trayecto. Por ejemplo, con el nitrato de plata todos los filamentos suaves del amianto se cubren de una multitud de pequeñas partes de plata revivificada. Estableciendo la comunicacion en sentido inverso es el ácido el que recorre el amianto para venir á acidular el agua que se halla entonces en el polo positivo.

2.º Hallándose colocada la disolucion salina entre dos vasos de agua pura que comuniquen entre sí por medio de amianto, hay tambien descomposicion y transporte desde que los dos hilos de la pila se sumergen el uno en el primer vaso de agua, y el otro en el segundo. El ácido es tambien trasportado al polo positivo, y el óxido al polo negativo.

3.º Se disponen tres vasos como en el experimento precedente: el primero contiene agua pura, el segundo una disolucion salina, y el de en medio una tintura vegetal de tornasol ó de jarabe de violeta: la sal es tambien descompuesta por la corriente y en el vaso de agua pura se halla el ácido ó el óxido según que se establece la comunicacion en uno ó en otro sentido. Pero, lo que es muy notable, es que en ningun caso la tintura vegetal experimenta alteracion: no es ni enrojecida por el ácido ni cambiada en verde por el óxido; y esto no obstante que es indefectiblemente atravesada por el uno ó por el otro. Asi es que los elementos químicos parecen perder á lo menos en parte sus fuerzas de afinidad mientras se hallan bajo la accion de la corriente eléctrica que les conduce.

4.º Cuando á la tintura vegetal se substituye alguna disolucion alcalina muy concentrada y muy poderosa, hay ácidos que no la pueden atravesar; están detenidos en el paso, y solo en estas circunstancias es que la misma disolucion se hace el polo de la pila: el vaso de agua pura es aun atravesado por la electricidad pero el ácido no puede llegar hasta él.



5.º Cuando á la tintura vegetal se substituye algun ácido muy poderoso, y concentrado hay tambien óxidos que no pueden atravesarlo; se combinan con él sin poder marchar al polo que les atrae.

Estos dos últimos fenómenos dan una prueba de que las afinidades químicas, siempre modificadas por la corriente, no son siempre destruidas por ella, y que hay casos en que conservan aun bastante energía para seguir no obstante su influencia. Puede ser que una corriente mas fuerte seria capaz de neutralizar las acciones químicas que se ejercen bajo una corriente mas débil.

Los diferentes óxidos que entran en la composicion del vidrio pueden tambien ser reducidos ó separados por la accion de la pila. Las substancias vegetales y animales pueden tambien ser descompuestas cuando son húmedas. Estos fenómenos de cuyo conocimiento se estaba lejos cuando no se sabia todo el poder de la pila de Volta, producian una grande confusion en los primeros esperimentos. Por ejemplo, el agua mas pura se hacia tan pronto ácida, tan pronto alcalina bajo el influjo de la corriente. Algunos esperimentadores hallan en ella ácido nítrico y amoniaco, otros ácido hidrocórico, otros en fin un ácido que proponian llamarle ácido eléctrico, suponiendo que estaba formado por una combinacion verdaderamente química del fluido eléctrico y de agua.

Sir H. Davy fué el primero que esplicó el origen de todas estas substancias, demostrando que provenian del vidrio ó de las membranas vegetales ó animales que se empleaban en los esperimentos; hizo conocer al mismo tiempo el fenómeno del trasporte en sus pormenores, y hechó los primeros cimientos de la ciencia electro-química. (Trat. phil., 1807, y Annal. de Chimie, t. 63). Asi es que descolló en esta inmensa carrera en la que habia de hacer tan bellos descubrimientos, y merecer tan grande renombre.

MM. Gay-Lussac y Thenard han hecho tambien con la célebre pila de la escuela Politécnica un considerable número de descubrimientos importantes, cuyo pormenor se halla en la grande obra que han publicado acerca este objeto, (Indagaciones físicas, químicas, etc.) pero estas indagaciones están relacionadas con las teorías químicas de un modo muy íntimo, de manera que no es fácil dar á conocer aqui los principales resultados.

Se debe tambien al Doctor Seebeck un hecho muy curioso: se ponen algunos gramos de mercurio en una cápsula de hidrocórato de amoniaco (*fig. 352*), se pone esta cápsula encima una lámina de metal



que comunique con el polo positivo de una fuerte pila, y desde que se toca el mercurio con el hilo negativo se le ve hincharse como un hongo y tomar un volúmen cinco ó seis veces mayor que el primitivo. M.M. Gay-Lussac y Thenard han analizado este producto (*Indagaciones físico-químicas* t. 1.<sup>o</sup>) y han reconocido que el mercurio absorbe así un volúmen de hidrógeno representado por 3,47 y un volúmen de amoniaco representado por 4,22.



### CAPITULO III.

#### De las pilas secas.

229. *Construccion de las pilas de Zamboni.* — En las pilas secas los *elementos electromotores* son tambien sustancias metálicas, pero el *conductor* que separa los diferentes pares no es una disolucion líquida, es un cuerpo sólido cualquiera perfectamente seco, ó ligeramente húmedo, ó embebido de alguna substancia que no sea del todo impermeable á la electricidad; porque es menester siempre que los fluidos eléctricos, desarrollados en el contacto de los metales puedan con el tiempo circular en toda la estension de la pila. Entre todas las disposiciones que se han sucesivamente indicado por hábiles observadores, la de M. Zamboni parece ser una de las mas eficaces. Se toman hojas de papel comun, un poco fuerte, y tan húmedo como pueda serlo naturalmente en un tiempo llovioso; por un lado se pega con la gelatina, goma ó almidon una hoja de zinc laminado, y batido despues: en el reverso se pone peróxido de manganesa muy bien porfirisado estendiéndolo diferentes veces con un tapon, ó solo con un pedazo de papel. Entonces se sobreponen en el mismo orden muchas de las mismas hojas y con un sacabocado de 10 á 15 líneas de diámetro se sacan tantos discos cuantas hojas hay sobrepuestas. Estos discos son á su vez sobrepuestos en el mismo orden, y se hacen asi pilas de 500, de 1000 ó de 2000 pares. Para asegurar mejor el contacto se ponen los discos en prensa despues de haber puesto en cada extremo piezas de metal bastante fuertes que lleven cinco ó seis apéndices salientes los que se ligan el uno al otro con cordoncillo de seda: despues para garantir la pila del contacto del aire se sumerge en azufre fundido ó en goma laca.

Algunas veces se embebe el papel con una ligera disolucion salina ó bien con leche, miel, manteca, aceite de clavel, esencia de terebentina, etc.; pero si las pilas que están hechas por estos medios tienen la ventaja de parecer un poco mas fuertes en los primeros instantes tienen al



mismo tiempo el inconveniente de deteriorarse con prontitud en comparacion de las primeras, porque es raro que despues de algunos años conserven aun toda su energia primitiva.

En lugar de emplear el zinc con el óxido de manganesa se puede sin desventaja emplear el estaño.

230. *Propiedades de las pilas secas.* — Una pila de Zamboni compuesta por ejemplo de 2000 pares no puede dar la menor conmocion ni producir la menor descomposicion química: con todo si se toca el uno de los polos con un plano de prueba, se toma una carga sensible, y por medio de la balanza eléctrica se pueden comparar entre sí las tensiones de diferentes pilas, ó las tensiones que da una misma pila en diferentes épocas: del mismo modo, tocando uno de los polos durante un instante con el condensador de tafetan, se obtiene una tal carga que alguna vez es posible hacer salir una fuerte chispa. Esta diferencia tan prodigiosa que se nota entre una pila de 2000 pares cargada con papel húmedo, y otra de 2000 pares semejantes cargada con agua acidulada se refiere particularmente á la imperfeccion de la conductibilidad de las rodajas de papel, ó de los otros cuerpos que separan los diferentes pares: los fluidos no pueden trasmitirse sino lentamente para llegar hasta al polo, y esta lentitud es la que determina las condiciones del equilibrio de las que se va á hacer la análisis.

1.º Si la pila está aislada por los dos polos y abandonada á sí misma en el aire perfectamente seco las electricidades que se manifiestan en todos los elementos se propagan poco á poco al través del conductor imperfecto, y se acumulan, la una en el polo positivo, y la otra en el polo negativo; pero la tension deja de aumentar y el equilibrio queda establecido desde que la cantidad de fluido que llega despues de haber vencido todas las resistencias, es igual á la cantidad de fluido que disipa por el contacto del aire. Desde este instante la fuerza de la pila será constante, los fluidos parecerán inmóviles y como fijados en sus dos extremos; pero es menester no perder de vista que en realidad están en movimiento sin cesar perdiéndose por el aire y reproduciéndose siempre; este es un *equilibrio móvil* y no un equilibrio estacionario.

2.º Es evidente; por lo que precede, que la misma pila trasportada al aire sucesivamente mas húmedo parecerá sucesivamente mas débil; porque la causa que reproduce el fluido queda la misma, mientras que la causa que le quita aumenta con la humedad. Es pues menester que se establezca un nuevo equilibrio, el que se establece en efecto



cuando la tension está debilitada en tal punto que el aire húmedo obrando sobre esta tension menor quite precisamente tanto fluido cuanto el aire seco quita obrando sobre una tension mayor.

3.º Cuando una pila seca en lugar de estar abandonada á sí misma en el aire seco ó húmedo está dispuesta de modo que se le quite directamente una parte de su fluido, presenta entonces fenómenos aun mas variados, pero tambien fáciles de esplicar por las mismas consideraciones del equilibrio móvil. Supongamos por ejemplo, que se disponen al lado la una de la otra dos pilas de 2000 pares cada una que formen dos columnas de cerca un pie de altura; sus polos superiores son el uno positivo, y el otro negativo; sus polos inferiores comunican entre sí por una chapa de metal: por medio de esta disposicion, las dos pilas en realidad no forman mas que una sola de 4000 pares; porque esto es exactamente como si se hubiese tomado una pila de 4000 pares, y que se las hubiese roto por en medio, conservando comunicacion entre las dos secciones de la rotura. Imaginemos ahora que se suspenda entre los dos polos contrarios superiores, y á igual distancia una aguja metálica ligera perfectamente móvil é *aislada*. Esta aguja igualmente atraída por los dos polos no habrá motivo para que vaya al uno con preferencia al otro; quedará inmóvil. Pero si una primera causa la separa marcha bajo ciertas condiciones para *efectuar un movimiento perpetuo*. En efecto llegando por ejemplo al contacto del polo positivo se carga de electricidad positiva, se halla repelida por este polo y atraída por el otro que viene á tocar en seguida. En este depone la electricidad positiva que habia tomado en el primero, se carga de electricidad negativa y se halla repelida de nuevo y atraída en sentido contrario; vuelve al polo positivo, no marcha al negativo, y asi sucesivamente. Una aguja bien ajustada parece que ha de ejecutar estas oscilaciones regulares sin desórden y continuamente tan largo tiempo como se quiera. Pero se verifica siempre algun accidente que desarregla ó que detiene este movimiento que se habia tomado al principio por un *movimiento perpetuo*. En este caso hay dos causas que quitan la electricidad de la pila, á saber, el aire y la aguja; y una sola causa siempre constante que la reproduce. Si por un estado dado del aire la aguja está de tal modo combinada por su forma, sus dimensiones y la rapidez de sus oscilaciones que la suma de las cantidades de fluidos quitadas por ella y por el aire sea exactamente igual á la cantidad de fluido que se desarrolla en el mismo tiempo habrá compensacion perfecta, las oscilaciones serán regulares, isocronas y continuarán por



tanto tiempo cuanto las cosas queden en este estado : pero si el aire pasa á ser mas seco las oscilaciones serán mas rápidas , si se hace mas húmedo serán mas lentas , y si se hace aun mas húmedo la aguja podrá detenerse. Ved aqui como se esplican todas las bizarras singularidades, y para decirlo asi , todos los caprichos del aparato que acabamos de describir : se le ve marchar en efecto tan pronto con velocidad , tan pronto lentamente , pasar por intervalos , volver á tomar su marcha despues de un tiempo mas ó menos largo. Aun si se le quiere detener á voluntad nada es mas fácil : basta soplar sobre los polos ó tocarles un instante con la mano , ó con un buen conductor ; porque toda la pila se descarga ; y son menester á menudo algunas horas para reproducir las cantidades de fluido capaces de determinar los movimientos de la aguja.

En los primeros tiempos de la invencion de la pila seca , estos periodos y sus intermitencias de movimiento habian sido tomados por algunos observadores por señales ó por presagios relacionados con los fenómenos meteorológicos ; pero se ve , por lo que precede que no son dependientes sino de variaciones accidentales de la humedad del ambiente.

231. *Electroscopo de Bohnenberger.*— M. Bohnenberger ha hecho una aplicacion de las pilas secas que desde luego parece muy ingeniosa ; despues de haber suprimido una de las hojas de oro del condensador á láminas de oro dispone á igual distancia de la hoja restante los dos polos de una pila muy poco enérgica : entonces es evidente que la menor carga de electricidad resinosa ó vítrea determina esta hoja muy móvil á conducirse hácia el polo positivo , ó negativo y una vez en movimiento ha de continuar sus idas y vueltas durante un tiempo mas ó menos largo. Pero este aparato me ha parecido siempre infiel , sea por causa de la agitacion del aire de la campana , sea por causa de la electricidad que este aire recibe de los dos polos de la pila.

232. *Pilas secundarias.* Cuando se forma una columna sobreponiendo alternativamente un disco de cobre y un disco de carton húmedo y ligando todo el sistema á la manera de las pilas secas , se obtiene un aparato que no es electromotor , pero que tiene alguna analogía con la pila y que se llama por este motivo *pila secundaria*. Basta en efecto poner los dos extremos de una pila secundaria en contacto con los dos polos de una pila en fuerte tension para que despues de cierto tiempo esta pila secundaria sea capaz de reproducir por sí mismo todos los



fenómenos de la pila. Asi despues de haberla separado de la pila que la ha cargado da por uno de sus polos electricidad positiva y por el otro electricidad negativa , y aun produce algunos fenómenos químicos ; en fin si se la descarga se vuelve á cargar sola un cierto número de veces como una pila seca. Estos fenómenos descubiertos por Ritter , se esplican por la imperfecta conductibilidad del sistema. Una simple tira de papel húmedo , interpuesta entre los dos polos de la pila presenta los mismos fenómenos , pero con mucha menor intensidad ; se carga tambien de electricidad positiva sobre la mitad de su longitud que toca en el polo positivo de la pila , y de electricidad negativa en la otra mitad : esta carga se mantiene bastante tiempo , y cuando se ponen los dos extremos en su estado natural los dos fluidos que cubren aun la parte central se esparcen en virtud de su repulsion propia para reparar estas pérdidas , hasta que en fin las dos electricidades recibidas de la pila esten recompensadas , ó disipadas por el contacto del aire.



## SECCION CUARTA.

### Del Electro-magnetismo.

## CAPITULO I.

### De la accion de las corrientes sobre las corrientes.

233. *Descubrimiento del electro-magnetismo.* — En 1820 M. Oersted, profesor en Copenhague hizo el descubrimiento fundamental que ha dado origen al *electro-magnetismo*. Se sabia ya que en ciertas circunstancias las fuertes descargas eléctricas podian afectar la aguja magnética; se habia observado, por ejemplo, que en los navios en que cayese un rayo, las agujas de las brujúlas perdian la propiedad de señalar el camino del barco. Muchos físicos entre los que se pueden citar á Franklin, Beccaria, Wilson, y Caballo habian ensayado el reproducir estos fenómenos por medio de la descarga de una botella de Leyden ó de la de una grande bateria, y habian en efecto llegado á modificar el magnetismo de agujas muy pequeñas, sea poniéndolas en el circulo de la esplosion, sea esponiéndolas simplemente á alguna distancia de la chispa; pero no habiendo podido producir estos experimentos algun fenómeno regular, se contentaron en admitir que el



choque eléctrico obraba entonces como el choque del martillo, y este objeto fué abandonado. Un poco mas tarde se hicieron con la electricidad de la pila algunos nuevos ensayos que no fueron mas felices. En fin M. Oersted halló el medio de hacer obrar la electricidad sobre el magnetismo de un modo seguro, y permanente. Una vez descubierto el modo de accion, y definido con precision, los fenómenos fundamentales se presentaron por si mismos á M. Oersted; desde entonces se abrió una nueva carrera á los sabios de todos los paises, y puede ser que jamas se haya visto, en tan corto periodo, enriquecerse la ciencia con tanto número de verdades nuevas.

Para que los fluidos eléctricos obren sobre el magnetismo basta una sola condicion: basta que estén en movimiento.

En efecto, siendo recorrido un hilo conductor por la corriente de la pila, si se aproxima á él una aguja magnetizada libremente suspendida, se ve que se desvia de su posicion, y que hace una serie de oscilaciones sin ser en general ni atraida ni repelida. Este es el primer experimento de M. Oersted. Cuando se ve una accion tan viva que se hace sentir aun á la distancia de muchos pies, queda uno admirado de que entre tantos experimentos como se han hecho con la pila, no haya ofrecido la casualidad una sola vez á la observacion un fenómeno de esta naturaleza.

La fuerza que se ejerce aqui entre la corriente de la pila, y el magnetismo de la aguja es lo que se llama la *fuerza electro-magnética*. Es fácil comprobar por experimentos que la fuerza electro-magnética presenta los caracteres siguientes:

- 1.º Que disminuye á medida que la distancia aumenta entre la corriente, y la aguja.
- 2.º Que se ejerce en todos sentidos y al través de todas las substancias, excepto al través de las substancias magnéticas.

Veanse aqui entretanto algunas suposiciones que nos serán útiles para caracterizar los fenómenos de un modo mas cómodo y mas preciso: admitiremos en la corriente una *direccion* determinada y la definiremos diciendo que va siempre del polo positivo al negativo pasando por el conductor que une los dos polos; asi cuando las comunicaciones están establecidas y el movimiento eléctrico se verifica en todo el circuito de la pila diremos hablando del arco *za* que toca al polo positivo que la corriente le atraviesa pasando de *z* á *a* (*fig. 353*); del mismo modo *a a'* es atravesado de *a a'*, *a' a''*, de *a'* á *a''* y en fin *cz* de *c* á *z* y considerando el circuito completo diremos siempre



que la corriente va de  $c$  á  $z$  pasando por la pila y de  $z$  á  $c$  pasando por el conductor. A menudo designaremos la corriente por las formas y por las dimensiones del conductor que atraviesa. Cuando pasa por un conductor rectilíneo la llamaremos *corriente rectilínea*, por un círculo *corriente circular*, por un hilo muy fino *corriente linear*, por un cilindro hueco *corriente cilíndrica*, por un hilo corvo *corriente curvilínea*, por un conductor indefinido en su longitud *corriente indefinida*, por un conductor reentrante en sí mismo y que forme un círculo completo *corriente cerrada*, etc.: Ninguna de estas espresiones ha de ser tomada á la letra: cuando decimos que hay una corriente en el conductor que une los dos polos de la pila, no queremos absolutamente dar á entender que haya en este conductor un movimiento de transición del fluido vítreo desde el polo positivo al negativo, y movimiento de traslación del fluido resinoso en sentido inverso, porque es probable, al contrario como lo hemos ya indicado muchas veces, que la recomposición de las electricidades se hace al rededor de todas las moléculas ponderables, y en todos los intervalos que las separan.

354. *La corriente tiende á volver la aguja en cruz con ella, con el polo austral á la izquierda.* — La figura 354 representa una aguja magnetizada  $ba$ , encima de la que pasa horizontalmente una corriente rectilínea  $cc'$ , situada en el plano del meridiano magnético y dirigida de  $c$  á  $c'$ ; la aguja es arrojada de su dirección primitiva, su polo *austral* está impelido al *occidente*, y después de algunas oscilaciones queda en la posición  $b'a'$ , sufriendo así un desvío medido por el arco  $aa'$ . Este desvío aumenta ó disminuye según se baja la corriente para aproximarla mas cerca de la aguja, ó que sube para elevarla.

Vueltas las cosas al primer estado, si de nuevo se aproxima la corriente pero volviéndola para que vaya en sentido contrario de  $c'$  á  $c$ , como está señalado por la pequeña flecha puntuada, la aguja experimenta aun los efectos de su presencia; en este caso su polo *austral* es impelido al *oriente*, y viene á parar en la posición  $b''a''$ .

Así pues *encima* la aguja la corriente desvía el polo austral al occidente cuando viene del sud al norte, y la desvía al oriente cuando viene al contrario del norte al sud.

Se pueden repetir los mismos experimentos haciendo pasar la corriente por *debajo* de la aguja siempre horizontalmente, y en el plano del meridiano magnético; entonces, cosa sorprendente, los efectos son precisamente inversos, es decir que el polo austral es impelido al



oriente cuando la corriente va del sud al norte, é impelida al occidente cuando viene del norte al sud.

En estos fenómenos la fuerza electro magnética es combatida por la accion directriz que la tierra ejerce sobre la aguja, y para observar el efecto solo de esta nueva potencia que obra de un modo tan enérgico, y al mismo tiempo tan singular, es necesario neutralizar la fuerza terrestre; esto es lo que se puede hacer muy simplemente, disponiendo, por ejemplo, un barrote horizontal en el plano del meridiano magnético, y sobre la prolongacion de la aguja; se descubre entonces el verdadero carácter de la fuerza electro-magnética: se ve que no es ni una fuerza atractiva ni repulsiva; pero si una fuerza *directriz* que vuelve siempre la aguja perpendicularmente al hilo conductor sin atraer un polo con preferencia á otro, es decir, que la línea de los polos forma siempre una *cruz*, con la línea de la corriente. Para formar una idea mas clara de esta direccion, concibamos un cilindro hueco, de una longitud cualquiera, y por ejemplo, de un pie de diámetro: siguiendo el eje de este cilindro, imaginemos un hilo conductor atravesado por la corriente, y encima su superficie una aguja magnetizada que pueda moverse libremente en todos sentidos; el efecto de la fuerza electro-magnética será tal que la aguja se pondrá siempre tangentialmente al cilindro, y transversalmente á sus aristas; ó en otros términos, si del medio de una aguja se baja una perpendicular sobre la corriente, la misma aguja en su equilibrio bajo la influencia de la fuerza electro-magnética será perpendicular al plano que pasa por esta perpendicular y por la corriente. El definir asi la direccion de la aguja no es lo bastante, es menester aun señalar la posicion de sus polos, determinar en que lado se halla el polo boreal, y en que lado el austral; sea que la corriente marche en un sentido ó en otro. En los primeros tiempos, se experimentaban grandes embarazos para espresar en pocas palabras estas relaciones de posicion y de direccion que se complican de mil modos; pero Ampere ha quitado todas estas dificultades por medio de una comparacion que tal vez parecerá tan bizarra como ingeniosa. Ampere no se contenta con dar una direccion á la corriente, le dá ademas una *cabeza* y unos *pies*, una *derecha* y una *izquierda*, hace de ella un hombre. Concibamos en una porcion cualquiera de un hilo conductor una pequeña figura de hombre echado segun la longitud, los pies á la parte del polo zinc y la cabeza al lado del polo cobre, de tal modo que segun nuestra definicion precedente la corriente entre por los pies y salga por la cabeza; concibamos



que esta figura tenga *siempre* la cara vuelta contra el medio de la aguja sobre la que obra la corriente: en este caso el efecto es tal que la aguja se halla en *cruz*, como se acaba de ver, y siempre su polo austral hácia la izquiezda de la pequeña figura del hombre; lo que expresamos diciendo que se pone *en cruz* con la corriente, con su polo austral á la izquierda. Esta especie de fórmula singular ofrece una imágen fácil que suple por muchas palabras: los que quieran aplicarla á todos los experimentos que se han ya citado no tendrán necesidad de un largo ejercicio para reconócer que es al mismo tiempo muy fiel y muy cómoda.

355. *La intensidad de la acción de la corriente es en razon inversa de la simple distancia.* — Esta ley fundamental ha sido demostrada por MM. Biot y Savart por medio de un aparato que ha sido representado en la figura 355: *ab* es una aguja magnetizada semejante á las pequeñas agujas de prueba de que se ha hablado (180); está suspendida de un hilo del capullo de gusano de seda por medio de una pequeña chapá de cobre, la que se pone al abrigo de la agitacion del aire por una campana de vidrio. La acción de la tierra está neutralizada por un barróte colocado convenientemente de modo que esta aguja ya no tiene fuerza directriz: se halla indiferente y pronta á obedecer sin resistencia á las nuevas fuerzas que se hagan obrar sobre ella: *cd* representa la seccion de un recio hilo de cobre de ocho á diez pies de longitud, tendido verticalmente y atravesado por una corriente unas veces de arriba abajo, y otras de abajo arriba. Para fijar las ideas supondremos que la corriente es ascendente: este hilo siempre vertical puede ser colocado en diferentes distancias de la aguja, el que en todas sus posiciones corresponde sensiblemente en medio de su longitud. Segun la ley que se acaba de indicar, la aguja se pone en cruz con la corriente, el polo austral en la izquierda como lo representa la figura; pero por poco que se la separe de esta posicion vuelve á ella por medio de oscilaciones isocronas, cuya duracion depende de la energía de la fuerza electro-magnética: el número de oscilaciones hechas en un tiempo dado, la distancia de la corriente, y la intensidad de la fuerza que ejerce, son pues tres cosas ligadas entre sí.

En un primer experimento sea *d* la distancia de la corriente en medio *m* de la aguja, *e* la intensidad de la fuerza que ejerce, y *n* el número de oscilaciones que se ejecutan en un tiempo dado, en un minuto por ejemplo:

En un segundo experimento sean *d'*, *e'*, y *n'* las cantidades análogas.



Siendo siempre las intensidades de las fuerzas que producen oscilaciones isócronas entre sí como los cuadrados de los números de oscilaciones ejecutadas en el mismo tiempo, tendremos (179):

$$\frac{e}{e'} = \frac{n^2}{n'^2}$$

Así despues de haber observado las oscilaciones es fácil de comparar las intensidades de las fuerzas. Por medio de comparaciones de esta especie, en distancias comprendidas entre 15 y 120 milímetros, y tomando las precauciones convenientes para obviar á las variaciones de la pila, es como MM. Biot, y Savart han reconocido que en efecto *la intensidad de la fuerza electro-magnética está en razon inversa de la distancia.*

Peró es menester no perder de vista, que conforme á la disposicion del aparato la corriente es rectilínea y de una longitud que se puede mirar como indefinida con relacion á la longitud de la aguja y particularmente con relacion á su distancia. M. de Laplace ha demostrado que la fuerza electro-magnética elemental, es decir la que es ejercida por una sola seccion de la corriente *es en razon inversa del cuadrado de la distancia*, como todas las otras fuerzas conocidas, y proporcional al seno del ángulo formado por la direccion de la corriente y por la línea tirada desde el medio de esta seccion al medio del iman. En efecto calculando segun este principio la suma de todas las acciones elementares ejercidas sobre una pequeña aguja por una corriente rectilínea indefinida, se halla que la intensidad de esta resultante total debe disminuir, como la esperiencia lo indica, es decir en razon inversa de la simple distancia.

Resulta ademas de esta misma ley de la fuerza elemental que la intensidad de la accion de una corriente angular indefinida tal como *emf* (fig. 355) sobre una aguja *ab* está en razon inversa de la distancia *am*, como la de una corriente rectilínea, pero que es proporcional á la tangente de la mitad del ángulo *emz*; así tomando por unidad la intensidad de la accion de *cd* sobre la aguja *ab*, la intensidad de la accion de *emf* seria representada por:

$$\text{tang. } \frac{1}{2} \text{ emz.}$$

Esto es lo que M. Biot ha verificado tambien por la esperiencia: y



se ve que si la corriente *emf* se endereza hasta al punto de confundirse con *cd*, sucede que siendo el ángulo *emz* entonces un ángulo recto la tangente de  $\frac{1}{2} emz$  pasa á ser igual á la unidad, como así debe ser.

136. *Condicion de equilibrio de una aguja magnetizada sujeta á la accion de una corriente rectilínea indefinida.* — La ley que precede no es verdadera sino partiendo de una distancia que sea á lo menos cinco ó seis veces mayor que la longitud de la aguja. Para distancias menores los fenómenos se presentan bajo otro aspecto. Sean por ejemplo *ab* (fig. 356) los dos polos de una aguja horizontal, *acbd* el círculo que pueden describir, y *ll'* una perpendicular elevada sobre el medio *m* de la aguja y prolongada indefinidamente por los dos lados: véase aquí lo que se observa cuando se hace obrar sobre la aguja una corriente vertical indefinida, la que para mayor simplicidad supondremos siempre ascendente, es decir, elevándose encima del plano de la figura :

1.º Cuando la corriente se halla sobre algun punto de la circunferencia *abcd* no tiende á poner la aguja en cruz con ella, la deja perfectamente en reposo, y no la hace volver ni en un sentido ni en otro.

2.º Cuando la corriente se halla en el cuadrante *ame*, atrae á sí el polo austral hasta al contacto; al contrario atrae el polo boreal cuando se halla en el cuadrante *bmc*, en los cuadrantes *amd* y *bmd* produce efectos inversos. Por consiguiente el equilibrio es inestable cuando la corriente está en *mc*, y estable cuando se halla en *md*, al paso que al contrario se observa la estabilidad sobre *cl* y la inestabilidad sobre *dl'*.

En la memoria leida en la Academia de ciencias en 1822, é impresa por extracto en los *anales de quimica* (t. 21, p. 77) he analizado estos fenómenos y todos los que dependen de los ranversamientos de accion á pequeña distancia, sea sobre una aguja móvil al rededor de su centro, sea móvil al rededor de un punto cualquiera. Resulta de la esperiencia y del cálculo que todos estos fenómenos pueden ser esplicados por medio del siguiente principio que me limito á indicar aquí: *la accion que se ejerce entre una corriente rectilínea indefinida y el polo de un iman forma un sistema de dos fuerzas paralelas iguales y contrarias que componen un par: estas fuerzas son perpendiculares á la corriente, y perpendiculares á la menor distancia de la corriente al polo del iman, y su direccion es tal que el polo austral está siempre impelido á la izquierda, y el boreal á la derecha: la in-*



tensidad de la corriente es en razon inversa de la distancia de ella al polo del iman.

Este mismo principio explica tambien todos los fenómenos de equilibrio que presentan las agujas sujetas á cualesquiera condiciones, como las agujas flotantes en la superficie de los líquidos, ó las que se mueven alrededor de un punto ó de un eje cualquiera.

237. *Multiplicador ó galvanómetro.*— Poco tiempo despues del descubrimiento de M. Oersted, M. Schwegerer imaginó el *galvanómetro*, que se llama tambien *multiplicador*, porque multiplica en efecto la fuerza electro-magnética. Este instrumento que es de una sensibilidad maravillosa porque descubre las menores cantidades de electricidad en movimiento, apoya en este hecho; que una corriente circular ó poligonal ó que tenga en general una forma reentrante cualquiera obra por todas sus partes para dirigir en el mismo sentido una aguja magnetizada á la que rodea por todas partes; y este hecho no es mas que una consecuencia de la proposicion general que se ha establecido (204). En efecto todas las partes de la corriente que recorren por ejemplo los lados del cuadrado *pgron* (fig. 357) obran del mismo modo sobre la aguja *ab* móvil al rededor del centro de la figura que puede volverse perpendicularmente á su plano: el lado *no* tiende á poner el polo austral delante de la figura y el polo boreal detras: sucede lo mismo por el lado de *gr*, de *or* y del de *pg*. Asi la aguja deberá volverse perpendicularmente con mucha energia al plano de la corriente, con el polo austral hácia adelante. Un segundo circuito de la misma intensidad marchando en el mismo sentido produce un efecto igual sobre ella. Sucederia lo mismo con un tercero, un cuarto, un centésimo: por lo que un hilo conductor vuelto sobre sí mismo y que dé cien vueltas debé cuando está atravesado por la misma corriente producir un efecto cien veces mayor que un hilo de una sola vuelta; solo si es preciso que los fluidos recorran todas las circumbalaciones del hilo sin pasar lateralmente de una vuelta á otra: esta es una condicion fácil de llenar: se toma para esto un hilo de plata ó de cobre rojo de quince ó veinte medideras de longitud de alguna fraccion de milimedidera de espesor, y revestido de un hilo de seda cuyas vueltas han de estar bien cerradas; se le envuelve sobre un pequeño cuadrado de madera ó de metal, á poca diferencia como el hilo encima una canilla; solo se dejan libres una ó dos medideras de longitud en cada extremo; esto es lo que se llama *los dos hilos del multiplicador*: la corriente ha de entrar por el uno y salir por el otro: la aguja magnética que ha de



servir de índice está suspendida de un hilo de capullo de seda, y todo el aparato está cubierto de una campana que le guarda de las agitaciones del aire. Cuando se quiere hacer un experimento se vuelve el cuadro en la direccion del meridiano magnético: la aguja se halla entonces en el plano del cuadro, y el efecto de la corriente la desvia de esta posicion un ángulo mayor ó menor segun es mas ó menos enérgica. En esta posicion la fuerza electro-magnética está combatida por la fuerza magnética de la tierra la que obra incesantemente sobre la aguja para restituirla al meridiano magnético.

Este primer multiplicador es ciertamente muy sensible, pero Nobili ha vuelto su sensibilidad incomparablemente mayor empleando en lugar de una aguja un sistema de dos agujas compensadas. En efecto si las dos agujas *ab*, y *a'b'* (fig. 256, y 358) tienen sus polos opuestos el uno al otro de modo que su conjunto no conserve mas que una fuerza directriz muy débil, y que se dispongan la una dentro el circuito y la otra fuera es fácil ver que la corriente obra sobre la una y la otra para hacerlas volver en el mismo sentido; así, la accion de la corriente es casi doble, y como por otra parte la fuerza directriz está reducida á su centésima ó á su milésima parte resulta que nada limita la sensibilidad de un *galvanómetro* compensado.

Se comprende fácilmente que por la reaccion de las agujas, mudando su estado magnético de un instante á otro, la fuerza directriz y por consiguiente la sensibilidad del *galvanómetro* es tambien variable.

Para ligar entre sí las agujas del modo mas fijo se contenta uno en general de ponerlas en una paja muy recta ó de atarlas en un hilo de metal.

La aguja superior se mueve en un cuadrante dividido en 360 grados, correspondiendo la línea 0 y 180° á la direccion del hilo sobre el cuadro de tal modo que las agujas sean exactamente paralelas al hilo cuando se hallan en 0, es decir, en su posicion de equilibrio. El desvío aumenta con la intensidad de la corriente, pero se comprende que no puede en ningun caso ser proporcional á esta intensidad.

La figura 359 representa un *galvanómetro* completo, y la figura 360 representa separadamente el cuadro sobre el que el hilo está en-vuelto.

En muchos experimentos es alguna vez útil el emplear un *galvanómetro diferencial*: se llama así un *galvanómetro* compuesto con dos hilos perfectamente iguales en longitud, diámetro y conductibilidad:



estos dos hilos están envueltos simultaneamente sobre el cuadro y cuando se hacen pasar por cada uno de ellos corrientes opuestas no se observa en las agujas mas que la diferencia de sus acciones de modo que el instrumento queda en cero cuando las corrientes son perfectamente iguales.

El galvanómetro sirve como se verá despues para una série de experimentos notables; pero si se quiere desde ahora dar una idea de su sensibilidad basta por ejemplo sumergir los extremos de dos hilos en el agua acidulada, entonces se verá que una corriente agita las agujas; puédesse tambien poner sobre la plancha de cobre *ab* (fig. 361) una hoja de papel mojado, y sobre el papel una lámina de metal cualquiera *cd*; entonces poniendo uno de los hilos *p* del galvanómetro en contacto con la plancha *ab*, y el otro hilo *n* en contacto con la placa *cd*, se tendrá casi siempre una corriente mas ó menos enérgica; mojado el papel con agua un poco ácida ó un poco alcalina la corriente toma mucha mayor energia. Se verá despues que esta accion es debida mas bien á la accion química que al simple contacto de los metales diferentes.

Será siempre fácil por el sentido del movimiento de las agujas el reconocer en que direccion marcha la corriente.

238. *De la magnetizacion por la corriente de la pila, y por la electricidad ordinaria.*— La corriente eléctrica no obra solamente sobre el magnetismo libre, sino que es capaz de descomponer los magnetismos naturales de todos los cuerpos magnéticos y de magnetizar con tanta fuerza como los mas poderosos imanes. Para demostrar la accion de la corriente sobre el hierro dulce basta sumergir en limaduras una porcion de hilo que una los dos polos de la pila, como lo hizo M. Arago. Al instante las limaduras se pegan al rededor del hilo y quedan adherentes en él mientras pasa la corriente, pero se despegan de él y caen tan pronto como el circuito es interceptado. Pequeñas agujas de acero presentadas á la corriente se pegan tambien en él, poniéndose en cruz, guardando despues su magnetismo cuando se las separa. Con todo, segun lo que se ha visto, para dar á la corriente toda su eficacia es evidente que es menester hacerla pasar transversalmente alrededor de las agujas, ó para decir mejor alrededor de cada una de sus secciones: se llega á esto del modo siguiente:

Se envuelve un hilo de metal en *helice*, sobre un tubo de vidrio, (fig. 362) se coloca la aguja en este tubo, y se hace pasar la corriente del uno al otro extremo del hilo de la helice; un solo instante basta



para que despliegue todo el magnetismo de que es capaz en estas circunstancias; porque despues de un contacto que no tiene mas duracion que la chispa, la aguja dispuesta en lo interior del tubo se halla magnetizada completamente. La rapidez, ó mas bien la instantaneidad con que la corriente puede vencer la resistencia de la fuerza coercitiva es un fenómeno muy notable.

Se distinguen dos especies de helices, la helice *dextrorsum* (fig. 362) en la que el hilo se envuelve hácia la derecha, y la helice *sinistrorsum* (fig. 363) en la que el hilo se envuelve hácia la izquierda suponiendo siempre que se les tiene del mismo modo; pero para dar de ello una idea mas justa basta decir que el *tira-busón* ordinario y todos los tornillos son helices *dextrorsum*.

En la helice *dextrorsum* el polo boreal de la aguja está siempre en el extremo por el que entra la corriente, ó bien en el extremo positivo del hilo; y en la helice *sinistrorsum* al contrario es el polo austral de la aguja el que se halla en la estremidad positiva.

Cuando se hacen sobre el mismo tubo muchas helices contrarias sucesivamente la una de la otra la aguja ofrece entonces en su magnetismo, un punto *consiguiente* en la union de las dos helices, asi cada una de ellas obra aun como si fuese sola.

Con una helice dos veces *ranversada* (fig. 364) se tendrian dos puntos consiguientes y asi sucesivamente. Si se hiciese de este modo una helice de *pasos* muy pequeños, y compuesta alternativamente de una vuelta *dextrorsum* y otra *sinistrorsum*, se produciria sobre la aguja magnetizada una distribucion de magnetismo muy singular; ó mas bien el efecto definitivo seria tal que pareceria haber conservado su estado natural.

La magnetizacion por la electricidad ordinaria dá origen á muchos fenómenos curiosos que vamos á examinar.

1.º La corriente *directa* que se obtiene haciendo comunicar los conductores con las almohadillas, no produce mas que muy débiles efectos cuando pasa simplemente por un hilo recto. Las agujas, aun las muy finas, que se esponen trasversalmente á una pequeña distancia de este hilo no se magnetizan cuando la corriente es *continua*; pero empiezan á tomar cantidades sensibles de magnetismo cuando se hace pasar la corriente en forma de pequeñas chispas; su magnetismo aumenta cuando las chispas se hacen mas fuertes y salen de mas lejos; en fin la accion de la corriente de la máquina, como la de la corriente de la pila aumenta por medio de las helices; entonces vivas



chispas producen mucho efecto sobre las agujas que se hallan en el tubo de la helice; y aun M. Ridolfi ha llegado por este medio á desplegar magnetismo con una corriente continua. al *apido al sup uno*  
 2.º Las descargas de la botella de Leyden y de las baterías tienen un poder magnético considerable sea que atraviesen hilos rectos, sea que atraviesen helices de paso más ó menos cerrado (fig. 362, 363, 364). Desde el principio se habían obtenido por uno y otro medio resultados idénticos á los que produce la pila; se había hallado que cerca de hilos rectos las agujas trasversales se magnetizaban con el polo austral á la izquierda; y que en los tubos de las helices se magnetizaban dando el polo austral al extremo negativo en las helices *dextrorsum*, y á la estremidad positiva en las helices *sinistrorsum*. Esto es en efecto lo que sucede á menudo: pero M. Savary ha descubierto muchos fenómenos notables, los que parecen establecer una diferencia fundamental entre la corriente continua de la pila y los *choques eléctricos* de las baterías (Annal. de Chim. t. 34). Cuando el choque está transmitido *por un hilo recto*, agujas iguales paralelas situadas trasversalmente del mismo lado del hilo á distancias diferentes no son magnetizadas en el mismo sentido: las unas son magnetizadas *positivamente*, es decir que sus polos están dispuestos como los de una aguja que se haya magnetizado antes, que sea libre de moverse bajo la acción de una corriente pacífica y continua que pasase por el hilo; al paso que las otras son magnetizadas *negativamente*, es decir en sentido contrario de las primeras. *una arto y unavortash albur am*

M. Savary ha reconocido que estas alternativas y las distancias en las que se manifiestan, dependen, por decirlo así, de todos los elementos que concurren al fenómeno; á saber, de la intensidad de la descarga, de la longitud del hilo tendido en línea recta, de su diámetro y del espesor de las agujas y de su fuerza coercitiva. En general los hilos muy finos, y las fuerzas coercitivas muy débiles presentan alternativas menos numerosas; aun muchas veces con estas condiciones la magnetización es siempre positiva, y los periodos no están mas marcados que por las diferencias de intensidad. *or sup, and yua sal*

Cuando el choque es transmitido *por hilos envueltos en helice* sobre tubos de vidrio ó de madera ejerce aun efectos análogos sobre agujas sucesivamente colocadas en el eje de los tubos; entonces la sola variación de intensidad en la carga de la batería puede tener una grande influencia. *con unavortash albur am*

En fin M. Savary ha comprobado por numerosos experimentos otro



fenómeno que me parece merecer toda la atención de los físicos. La cantidad de magnetismo que toma una aguja bajo la influencia de una carga eléctrica y aun la dirección de su magnetización dependen de la naturaleza de las dimensiones de los cuerpos que la tocan ó que la envuelven. En una helice semejante á las precedentes y atravesada por una descarga eléctrica, una aguja no puede tomar mas magnetismo cuando está envuelta de un cilindro de cobre de bastante espesor: á medida que el espesor disminuye el magnetismo se hace sensible, y por un espesor bastante pequeño se hace mas considerable, de lo que seria en una aguja desnuda y aislada en el eje de una helice. El estaño, el hierro, la plata colocados alrededor de la aguja la dan propiedades análogas, es decir que en hojas muy delgadas la vuelven mas apta para recibir el magnetismo, y que en cilindros suficientemente espesos la quitan del todo la propiedad de ser magnetizada por el choque eléctrico. Cilindros de limadura metálica no producen este efecto, al paso que capas concéntricas alternativamente metálicas y no metálicas lo producen: de lo que parece resultar que las soluciones de continuidad perpendiculares al eje de la aguja ó al eje de los cilindros tienen una grande influencia sobre sus propiedades.

239. *De la rotacion de los imanes por la influencia de las corrientes.*—Este fenómeno curioso de la rotacion de los imanes por la acción de las corrientes ha sido indicado por el Dr. Wollaston, y demostrado por Mr. Faraday en una época en que no se tenían aun nociones muy completas sobre las fuerzas electro-magnéticas.

Aquí está por de pronto la relacion de los experimentos: una ancha proveta de vidrio *vv'* (fig. 365) está llena de mercurio hasta á una corta distancia de sus bordes; un iman cilindrico *ab* lastrado con un pequeño contrapeso de platina *p* se mantiene derecho en el mercurio de modo que su polo *a* se eleve algunos milímetros encima del nivel (este iman está representado un poco mas en grande en la figura 367); una barilla *t* la que se puede elevar ó bajar á voluntad por medio de un tornillo de presión, viene á introducirse en el mercurio por su extremo inferior, al paso que comunica por su otra estremidad con un conductor de cobre *c*, el que comunica con uno de los polos de la pila: en fin el conductor *c'* que va al otro polo pasa por encima del borde de la proveta y se introduce en el mercurio muy inmediato al cerco exterior. Se le dá la forma de un anillo para que todo sea simétrico. Desde que está establecida la comunicacion, el iman gira en el mismo sentido con un movimiento mas ó menos rápido, y hace re-



voluciones sucesivas al rededor de la varilla *t*; tiene alguna tendencia en venir á tocarla y á girar entonces con mas rapidez, pero con algun cuidado es fácil ajustarle para que se mantenga á distancia; con todo es menester un poderoso aparato á fin que la rotacion sea regular y rápida.

Pero se puede disponer el experimento de otro modo que dé siempre una grande velocidad aun con pilas ordinarias de 10 á 12 pares. Esta disposicion está representada en la figura 366. La pequeña cavidad que se halla en el extremo del iman por la que se puede atornillar al contrapeso de platina forma una especie de pequeña seccion *g* (fig. 367) que se llena de mercurio: se baja la punta de la varilla *t* de modo que se introduzca en este mercurio sin tocar al iman, el que conserva asi toda su movilidad: despues se establecen las comunicaciones con los dos polos de la pila como en el experimento que precede: entonces el iman gira sobre sí mismo como un trompo y con una grande velocidad.

En el primer modo de experimentar la direccion del movimiento se establece siempre como si el polo austral estuviese impelido á la izquierda de la corriente; en el segundo modo el polo es inmóvil, pero el movimiento se vérifica como en el primer caso en cuanto á su direccion. Se verá en el capitulo tercero la esplicacion de estos fenómenos.



## CAPITULO II.

### Accion de la tierra y de los imanes sobre las corrientes.

240. *Direccion de las corrientes por la influencia del magnetismo de la tierra.* — Cuando se hubo comprobado la accion de las corrientes sobre los imanes, no se pudo dudar que no hubiese de parte de los imanes una reaccion igual capaz de dirigir las corrientes y de moverlas de diferentes modos. Entre todos estos fenómenos inversos de los precedentes, los que debian resultar de la accion magnética de la tierra se presentaban como los mas curiosos para examinar, y se ensayó en efecto el disponer corrientes móviles para estudiar las modificaciones que experimentarían abandonándolas como brújulas á la influencia del magnetismo terrestre. Estos primeros ensayos no daban resultados satisfactorios, porque entonces era difícil dar á la corriente toda la movilidad deseable. Con todo Ampere llegó pronto á vencer todas estas dificultades por un modo ingenioso de suspension que se aplica ventajosamente á todas las corrientes móviles. Vamos á dar una idea de este procedimiento.

La figura 368 representa dos columnas verticales de cobre *v* y *z* fijadas sobre un pie de madera: en su estremidad superior se encorvan á modo de *muleta* y vienen á terminarse por las dos secciones *x* é *y* cuyos centros se hallan en la misma vertical: las partes de estas columnas que parecen tocarse están separadas la una de la otra por substancias aislantes; así cuando su pié comunica con los dos polos de la pila por un medio que se va á indicar, es evidente que los fluidos eléctricos llegan el uno en la seccion *x*, el otro en la seccion *y* y que no se produce corriente á menos que se establezca una comunicacion entre estas dos secciones que se pueden llamar la una la *seccion positiva*, y la otra la *seccion negativa*, segun la naturaleza del fluido que reciben.

Nada parece mas simple que el hacer llegar la electricidad al pie de



las columnas; con todo como es necesario el cambiar á menudo las comunicaciones, poderlas suprimir instantáneamente, ó establecerlas en órden inverso sin desarreglar en nada el apurato, Ampere imaginó una disposicion ingeniosa que llena este objeto de un modo muy cómodo.

$r$  y  $r'$  (fig. 369) son dos renuras de alguna profundidad abiertas en el espesor de una plancha de madera (fig. 370) que puede ponerse sobre las mesas de diferentes aparatos electro-magnéticos;  $v$  y  $v'$ ,  $t$  y  $t'$  son cuatro cavidades abiertas del mismo modo que comunican diagonalmente por medio de dos láminas de cobre, á saber, por  $ll'$  que va de  $v$  á  $v'$ , y por  $mm'$  que va de  $t$  á  $t'$ ; en el punto en que se cruzan estas láminas están separadas por una pequeña faja de substancia no conductriz, á fin de que la corriente no pueda jamas pasar de la una á la otra. Las dos renuras y las cuatro cavidades están llenas de mercurio, pero antes han de estar cubiertas con una capa de resina á fin de que las corrientes no puedan verificarse al través de la madera que las separa.

Esto supuesto concibamos que se introduce el hilo positivo de la pila en la renura  $r$ , y el hilo negativo en la renura  $r'$ , es claro que los fluidos no podrán pasar ni á la una ni á la otra de las cuatro cavidades  $vv'$ ,  $tt'$ ; pero si se establece al mismo tiempo una comunicacion de  $r$  á  $v$ , y otra de  $r'$  á  $t$ , el fluido pasará de  $v$  á  $v'$  por la lámina  $ll'$  y de  $t$  á  $t'$  por la lámina  $mm'$ ; asi la lámina  $l'$  que comunica con  $v'$  será positiva, y la faja  $b$  que comunica con  $t$  será negativa. Al contrario si volviendo las cosas al primer estado se establecen comunicaciones de  $r$  á  $t'$  y de  $r'$  á  $v'$  la faja  $b'$  será negativa, y la  $b$  positiva: pero estando destinadas estas dos fajas á producir la corriente, cuando se las hace comunicar juntas por un circuito metálico cualquiera, es claro que la corriente atravesará el circuito en un sentido ú otro, segun que se pongan dos arcos conductores de  $r$  á  $v$ , y de  $r'$  á  $t$ , ó que se pondrán de  $r$  á  $t'$  y de  $r'$  á  $v'$ . Si entretanto se fija la pieza á *va bien* (fig. 370) se verá luego todo el mecanismo de que nos queda que hablar. Esta pieza es de madera y puede girar al rededor del eje  $aa'$  que se ajusta en los agujeros  $oo'$  sobre los pies  $p$  y  $p'$ ; esta sobrelleva cuatro arcos conductores de metal, dos en un lado en  $c$  y  $c'$  y otros dos semejantes en el otro lado en  $d$  y  $d'$ . Cuando está en su lugar, las estremidades del arco  $c$  corresponden á la renura  $r$  y á la cavidad  $v$ , las de  $c'$  á la renura  $r'$  y á la cavidad  $t$ , las de  $d$  á  $r$  y á  $t'$ , las de  $d'$  á  $r'$  y á  $v'$ ; su longitud es tal que en esta posicion no



tocan al mercurio, pero cuando se hace girar la pieza á palanca para introducir los arcos  $c$  y  $c'$  la corriente pasa de  $b'$  á  $b$ , y cuando se la hace girar para introducir los arcos  $d$  y  $d'$  la corriente pasa en sentido inverso de  $b$  á  $b'$ .

Este aparato tomado en su totalidad se llama *báscula*; está establecido en el pié de dos columnas  $v$  y  $t$  de la figura 268: solo si se ha suprimido la pieza móvil la que habria impedido el ver las posiciones relativas de las renuras y de las cavidades. Se vé que las fajas  $b$  y  $b'$  de la figura 369 vienen á terminar cada una al pie de la una de las columnas, y que es por ellas por donde pasa el fluido para llegar á las secciones  $x$  é  $y$ : haciendo inclinar la báscula en un sentido ó en otro se vuelven cada una de las secciones alternativamente positiva y negativa.

Esto supuesto examinemos el hilo de cobre plegado en círculo en la figura 371 el que está destinado á formar una corriente circular móvil: las estremidades de este hilo están ligadas entre sí, pero separadas la una de la otra por medio de una substancia aislante: están encorvadas en forma de báculo de tal modo que corresponden á las dos secciones  $x$  é  $y$  de la figura 368. En fin estas llevan dos puntas de acero la una que ha de descansar sobre la lámina de vidrio un poco taladrada, la que forma el fondo de las secciones, y la otra que debe simplemente introducirse en la otra seccion. El agua acidulada, ó mas bien el mercurio de que se llenan las dos tasas acaba de establecer las comunicaciones, y se obtiene así una corriente circular dotada de una grande movilidad. Puesto el círculo en su lugar en el aparato de la figura 368 se hace pasar la corriente, y se vé al instante que hay una fuerza que le solicita; gira, oscila, y en fin se fija en una posicion determinada, á la que vuelve sin cesar si se le separa. Despues cuando introduciendo la báscula en sentido contrario se muda la direccion de la corriente el círculo hace una media revolucion, viene á oscilar del otro lado y á fijarse en fin en una posicion diámetralmente opuesta. En los dos casos el plano de equilibrio en que se fija se halla exactamente perpendicular al plano del meridiano magnético. *El equilibrio estable tiene lugar cuando en la parte inferior del circuito la corriente va del este al oeste.*

Circuitos cerrados, triangulares, cuadrados, ó de otra cualquiera figura pueden sujetarse á la esperiencia en el mismo aparato (fig. 368) y presentan los mismos efectos; así el rectángulo de la figura 372 se dirige como el círculo precedente.



A fin de que la accion de la tierra se neutralice por sí misma en un lugar cualquiera basta ajustar los hilos para tener de una y otra parte del eje de rotacion partes simétricas que la corriente atraviesa en el *mismo sentido*; por ejemplo la figura 373 representa un rectángulo que no tiene fuerza alguna directriz; en efecto es fácil ver siguiendo la direccion de la corriente sobre la figura que hay siempre de una y otra parte del eje fuerzas iguales que se destruyen mutuamente pues que tienden á producir una rotacion en el mismo sentido.

241. *Direccion de las corrientes por la influencia de la tierra.* — Los fenómenos precedentes han sido analizados por la primera vez en una memoria que presenté al Instituto sobre este objeto (Annal. de Quimic. y Fisica t. 21 p. 77), M. Aug. de la Rive habia hecho por su parte indagaciones análogas de las que dió conocimiento muy poco tiempo despues á la sociedad de historia natural de Génova (*Biblioteca universal*, t. 21, p. 21). Para formarse una buena idea de la accion de la tierra es menester examinar sus efectos sobre las corrientes verticales y sobre las horizontales. Ved aqui por el pronto el aparato de que me serví en estas indagaciones para las corrientes verticales. Se compone de dos vasos cilindricos de cobre: el uno superior y el otro inferior de un diámetro un poco mayor (fig. 374). Estos vasos están abiertos por su medio con una abertura un poco ancha, tambien cilindrica, por la que pasa la varilla *t*, la que termina por la copa *c*; el travesaño *hh'* es de substancia no conductriz; lleva en su medio una punta por la que descansa en equilibrio sobre el fondo de la copa *c* llena de mercurio. Los hilos *v* y *v'* atados al travesaño están encorvados para introducirse por un extremo en el agua acidulada del vaso inferior: una pequeña lengüeta en metal soldada sobre el fondo del primer vaso se introduce en el mercurio de la copa para establecer una comunicacion entre el agua y la varilla. Asi la corriente que entra por el vaso inferior pasa al agua acidulada del vaso superior, á la lengüeta, á la copa y viene á descender en fin por la varilla *t*.

Quando se levanta la estremidad inferior ó superior del uno de los hilos para sacarle del agua acidulada de modo, que la corriente pase solo por el otro hilo, el sistema se dirige y viene á colocarse en el plano perpendicular al meridiano magnético: *quando la corriente es ascendiente el hilo que atraviesa se coloca al occidente*, ó á lo menos si viene al oriente no halla en él mas que una posicion de equilibrio inestable del que la menor fuerza le puede desalojar, al contrario sucede quando la corriente es descendiente.



Se ve por esta razon que los dos hilos tomados juntos si son bien iguales, diametralmente opuestos colocados á la misma distancia del eje, y atravesados por corrientes de la misma intensidad deben formar un sistema del todo indiferente á la accion de la tierra, porque en todas las posiciones alrededor del eje los dos hilos son entonces solicitados por fuerzas paralelas iguales y dirigidas en el mismo sentido las que no cesan de hacerse equilibrio. Pero no sucede ya lo mismo cuando los dos hilos no están diametralmente opuestos, ó cuando existe entre ellos alguna ligera diferencia de diámetro, de forma, de longitud, de distancia al eje, ó de facultad conductriz que ponga alguna desigualdad en los momentos de rotacion. Se puede variando estas diferentes circunstancias hacer un grande número de experimentos interesantes. Para que el equilibrio sea mas estable, se pueden sin modificar en nada los resultados, unir las estremidades inferiores de los hilos por una lista de cobre formando un círculo paralelo á los bordes del vaso.

242. *Rotacion de las corrientes horizontales por la influencia de la tierra.* — El aparato que sirve para estudiar la accion de las corrientes horizontales está representado en la figura 375: es un simple vaso de cobre análogo á los precedentes, el hilo horizontal *ab* terminado por las bolas *sd* se halla en equilibrio estable sobre su punta que descansa en la copa central y dos apéndices verticales muy cortos se introducen en el agua acidulada del vaso. La corriente que entra, por ejemplo, por la copa atraviesa en sentido opuesto las dos mitades del hilo para pasar al agua acidulada y de alli al metal del vaso y al instante se percibe un movimiento de rotacion continuo. La rotacion se verifica del este al oeste por el norte cuando la corriente va del centro á la circunferencia, y en sentido contrario cuando la corriente va de la circunferencia al centro del hilo.

El fenómeno se produce tambien, aunque con menor intensidad, cuando la corriente no pasa mas que por una de las mitades del hilo, siendo la otra mitad de substancia no conductriz ó dejando de estar sumergida en el agua acidulada.

Pero es evidente que no habria mas movimiento alguno en un hilo horizontal compuesto de dos partes iguales y atravesado por la misma corriente como lo manifiesta la figura 376, cualquiera que sea de otra parte el ángulo de las dos partes *ac* y *bc*; porque en la una la corriente marcha de la circunferencia al centro *c*, y en la otra del centro á la circunferencia de modo que tienden á girar en sentido contrario y componen un sistema indiferente: este sistema con todo tenderia á



transportarse en un sentido ú otro siguiendo la direccion de la línea que divide el ángulo *acb* en dos partes iguales.

Segun esta analisis de las acciones experimentadas por parte de la tierra por las corrientes verticales y horizontales, es fácil ver que si el sistema representado en la figura 377 gira por un movimiento continuo cuando se adapta en el aparato de la figura 374 es por el efecto de sus ramas horizontales, y de ningun modo por el de sus ramas verticales que componen un sistema indiferente.

243. *Direccion de las corrientes por los imanes.* — Lo que se acaba de decir sobre la direccion que el magnetismo de la tierra imprime á las corrientes móviles basta para indicar la mayor parte de los efectos que se producirán por la accion de los imanes; pero como la accion de la tierra obra sin cesar, será menester para no complicar los experimentos emplear aparatos en los que su influjo se destruya por sí mismo. Por ejemplo hallándose el doble rectángulo de la figura 373 suspendido en el aparato de la figura 368, se verá que queda en equilibrio en todas las posiciones, y aproximando uno de los polos de un iman será fácil atraerle, repelerle é imprimirle movimientos en todos sentidos. Cuando se hacen estos experimentos se admira uno desde luego de las alternativas de atraccion, y de repulsion que se manifiestan por posiciones del iman muy poco diferentes: llevando uno de sus polos un poco mas á la derecha ó un poco mas á la izquierda, aproximándole ó apartándole una cantidad muy pequeña se observa al instante un trastorno en la accion. Todos estos movimientos tan diversos y tan complicados en apariencia se deducen del principio general que se ha anunciado. (236) Para esplicarlos basta analizar los pares diferentes que resultan de la accion de cada polo sobre las diferentes partes de la corriente y observar al mismo tiempo la disposicion de estas fuerzas con relacion al eje de rotacion y los brazos de palancas por cuyos medios obran: estos son problemas cuyas condiciones pueden ser variadas al infinito.

Se deben á M. de Larive muchos experimentos ingeniosos por los que hace ver que corrientes muy débiles pueden ser dirigidas por los imanes, ó tambien por la accion magnética de la tierra. Estos pequeños aparatos son corrientes flotantes de las que se pueden variar las formas á discrecion: se han representado dos en las figuras 378 y 379. En un pedazo de corcho destinado á sobrenadar en un ancho vaso de agua acidulada se hace pasar una pequeña hoja de zinc *z* la que está soldada en *s* á una lista ó á un hilo de cobre *c*: despues de haber des-



rito una circunferencia en la figura 378, y diferentes circunvoluciones en la figura 379, este hilo de cobre viene á su turno á pasar por el corcho, y á introducirse en el agua acidulada á una pequeña distancia de la hoja de zinc. Desde que el aparato está encima del agua se establece la corriente en la direccion de las flechas, y es bastante sensible para ser dirigida por la tierra, y con mayor razon para ser atraida ó repelida por los imanes: Por ejemplo cuando se presenta el polo boreal de un iman al círculo de la figura 378 á una cierta distancia se le ve girar sobre sí mismo de un cierto modo, despues avanzar hácia al polo, dirigirse sobre el iman, llegar hasta al medio, detenerse alli despues de diferentes oscilaciones. Si se adelanta ó se aparta el iman el círculo adelanta ó atrasa para guardar su posición, la que es en efecto la sola, como se puede ver facilmente, en la que se halla en equilibrio estable.

244. *Rotacion de las corrientes por los imanes.* — Con el polo de un iman convenientemente dispuesto relativamente á la corriente horizontal de la figura 375, se pueden producir á voluntad todos los fenómenos que resultarían de la accion magnética de la tierra en todos los climas desde el ecuador á los polos.

1.º Presentándose el polo boreal de un barrote *debajo* del aparato y obrando asi en el mismo sentido que el magnetismo terrestre se observa una grande aceleracion de velocidad en la rotacion.

2.º Presentándose al contrario el mismo polo *encima* del aparato su accion es inversa de la de la tierra, y se puede variando las distancias hacer predominar alternativamente la fuerza del iman ó la del globo terrestre.

3.º El polo austral del iman obra siempre en sentido contrario de su polo boreal, y como la accion de cada uno de los polos determina rotaciones opuestas pasando por encima ó por debajo del plano horizontal *ab*, es evidente que en este mismo plano la accion de cada uno es exactamente nula. Se puede pues asi hacer con este aparato un gran número de esperimentos de los que será fácil explicar todas las particularidades.

Los esperimentos que se pueden hacer con las corrientes verticales ascendientes ó descendientes de la figura 374 no son ni menos numerosos, ni menos variados ni menos fáciles de explicar. Por ejemplo es evidente que las dos corrientes diametralmente opuestas que forman un sistema indiferente bajo el influjo del magnetismo terrestre, forman al contrario un sistema capaz de recibir un movimiento de rotacion muy



rápido bajo la acción del uno de los polos de un imán. Concibamos en efecto el cilindro indefinido que describen girando dos hilos verticales  $v, v'$ , y sus prolongaciones: cuando un polo austral será colocado en parte en el interior de este cilindro, sea encima sea debajo de las corrientes, producirá por todas partes una rotación continua en un sentido ó en otro según que la corriente será ascendente ó descendente. Un polo boreal colocado solo producirá también el mismo fenómeno, siempre en sentido inverso de tal modo que no se obtendría más rotación si estos dos polos contrarios obraren al mismo tiempo en posiciones que su energía fuese igual.

Coloquense fuera del cilindro indefinido de que se acaba de hablar, los polos de un imán no pueden producir ya rotación, solo imprimen al sistema móvil una dirección determinada.

Los aparatos de las figuras 374 y 377 participan á la vez de las propiedades de las ramas horizontales y de las verticales, y experimentarán de parte de los imanes efectos compuestos de los que será fácil hacer la análisis.

Debese á M. Faraday un aparato muy simple por medio del que se produce fácilmente el fenómeno de la rotación continua, está representado en la figura 380:  $zz'$  es un vaso de zinc, agujereado por su medio, el cual lleva un pequeño travesaño encima del que está soldada en  $s$  una varilla de cobre  $sc$ ; en la copa que termina esta varilla se pone en equilibrio el aparato de la figura 377; el mercurio de la copa y el agua acidulada del vaso en el que se sumerge la lámina circular completan las comunicaciones, y la corriente móvil se pone á girar rápidamente bajo la influencia de los barros que están colocados en  $a$  debajo del vaso. Se puede aun dar á este aparato bastante sensibilidad para que gire bajo la influencia de la tierra.

La corriente aquí es producida por la acción química del agua acidulada ejecida sobre el zinc del vaso.

245. *De algunos fenómenos que presentan las corrientes por el vacío, ó por los líquidos.* H. Davi es quien ha estudiado estos fenómenos por medio de la grande pila de la Sociedad Real; por lo que pondremos aquí tres de sus experimentos más notables.

Primeramente. Se pone en el fondo de una salvilla ó de un ancho vaso de vidrio una masa de mercurio bastante considerable encima de la que se derrama una capa de agua acidulada; los dos polos de una pila vienen á sumergirse verticalmente en el mercurio en dos puntos que estén á poca diferencia á igual distancia del centro y de la circun-



ferencia : una vez establecida la corriente de este modo no se observa fenómeno alguno particular ; pero desde que se aproxima uno de los de un poderoso iman , el mercurio parece desde luego agitado y girando , y luego despues toda la masa se pone en movimiento de rotacion muy rápido alrededor de cada hilo como al rededor del eje ; la direccion de estos movimientos está determinada por la de la corriente , por la posicion , y por la naturaleza del polo magnético que se le presenta. La accion es mas viva cuando se hacen obrar dos polos contrarios de un iman el uno por encima el otro por debajo del mercurio y fuera del espacio que está comprendido entre los hilos.

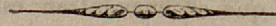
En segundo lugar se hacen pasar por el fondo de un ancho vaso de vidrio dos gruesos hilos de cobre que están cubiertos por todas partes de cera excepto su estremidad superior , los que se elevan perpendicularmente hasta cerca una pulgada sobre el fondo. Estos dos hilos se hallan á tres pulgadas el uno del otro. Estando el vaso lleno de mercurio de modo que el nivel se eleve una ó dos líneas encima de los hilos se hace pasar una corriente muy enérgica. Entonces se observan los fenómenos siguientes , el mercurio se agita mucho , su superficie encima de cada hilo se eleva en forma de pequeños conos de donde salen pequeñas undulaciones en todas direcciones ; el solo punto sin agitacion parece ser aquel en que se encuentran estas ondas en el centro del mercurio entre los dos hilos. En seguida cuando se aproxima gradualmente encima de uno de estos conos el polo de un barrote fuertemente magnetizado su vértice baja poco á poco y vuelve en fin al nivel ; y aun á menor distancia el barrote determina una depresion del mercurio y una especie de embudo móvil y agitado en torbellino cuyo vértice descende casi hasta la estremidad del hilo.

El estaño en fusion presenta el mismo fenómeno.

En tercer lugar : La corriente que pasa al vacío , de la que se ha hablado antes ( 227 ) , puede ser agitada , dirigida y puesta en movimiento por el polo de un iman poderoso. La chispa que sale de los conductores de la máquina parece ser demasiado instantánea para obedecer á la accion de los imanes. Asi no debemos estrañar que los relámpagos que serpentean por el cielo durante las tempestades no sean sensiblemente dirigidos por la accion magnética de la tierra ; al paso que la electricidad mas difundida que se observa en las altas regiones de la atmósfera por una luz mas brillante y menos instantánea obedece á esta influencia , y parece recibir de ella no su movimiento pero su direccion y su arreglo.



Se verá en la meteorología que este experimento curioso de Sir H. Davy es un dato importante para explicar las causas y las apariencias de las auroras boreales. Pero faltan aun indagaciones importantes sobre los singulares fenómenos que presentan las corrientes, cuando atraviesan los fluidos elásticos enrarecidos ó los líquidos conductores.





### CAPITULO III.

De la accion de las corrientes sobre las corrientes.

246. Débese á Ampere el descubrimiento de la mútua accion que las corrientes ejercen sobre las corrientes, y casi solo á sus indagaciones se debe al mismo tiempo el conocimiento de los fenómenos, indefinidamente variados que de ellas resultan, como tambien el conocimiento no menos importante de las leyes matemáticas á que están sujetos. La teoría general á la que ha llegado, y que ha espuesto en una de sus obras mas notables de nuestra época (*Teoria de los fenómenos electro-dynámicos etc.* Paris 1826) no solo abraza la accion de las corrientes propiamente dichas, sino que se estiende ademas á las mismas acciones magnéticas y á las mútuas acciones de las corrientes y de los imanes; refiere por consiguiente á un mismo principio fenómenos que hasta entonces habian sido considerados como dependientes de fuerzas diferentes. Ampere, para llegar á este punto se vió obligado, á la verdad, á recurrir á consideraciones hipotéticas sobre la constitucion de los imanes, pero sus hipóteses son del orden de aquellas que los géometras deben admitir para aplicar el cálculo á los fenómenos físicos; y ademas parece que han recibido un nuevo grado de probabilidad por los recientes descubrimientos de Faraday.

Sentimos vivamente que el cuadro de un tratado elemental no nos permita esponer esta teoría en su conjunto, no obstante procuraremos hacer conocer todos los principales esperimentos que le sirven de base substituyendo en lo que nos sea posible un orden lógico al orden matemático adoptado últimamente por Ampere, y simplificando los aparatos para hacerles mas inteligibles

247. *Accion de las corrientes paralelas.* — Dos corrientes paralelas no pueden hallarse en presencia sin ejercer la una sobre la otra una accion mas ó menos viva, la que depende de su distancia, de su intensidad, y de su longitud: no considerando esta accion sino con re-



lacion á la direccion de los efectos está sujeta á esta ley general muy simple. *Dos corrientes paralelas se atraen cuando marchan en el mismo sentido, y se repelen cuando marchan en sentido contrario.*

Esto es lo que se va á demostrar por medio del siguiente aparato.

*abcd* (fig. 381) es un hilo de cobre plegado en rectángulo cuyos extremos se adaptan en las dos copas *x* é *y* que terminan las dos columnas *t* y *v*; cuando este rectángulo está en su lugar la corriente que entra por la columna *t* le recorre en el sentido de las flechas para salir por la columna *v*; entonces las corrientes de *t* y de *de* marchan en el mismo sentido subiendo; las de *v* y de *bc* marchan en el mismo sentido descendiendo, y hay una viva atraccion que llama sin cesar al rectángulo á la posicion en que el lado *de* está cerca de *t* y el lado *bc* cerca de *v*; *luego las corrientes que van en el mismo sentido se atraen.*

Substituyendo el rectángulo de la figura 382 al de la figura 381 se tienen en este rectángulo y en las columnas corrientes que marchan en sentido contrario y se observa una repulsion; *luego las corrientes que van en sentido contrario se repelen.*

En estos experimentos es menester disponer los aparatos de modo que el movimiento del rectángulo no pueda ser atribuido á la accion de la tierra á la que se halla sometido como se ha visto antes.

La intensidad de estas atracciones y de estas repulsiones es evidentemente proporcional á la longitud de los lados verticales del rectángulo, y al cuadrado de la intensidad de la corriente que se halla en circulacion en el aparato; serian tambien en razon inversa de la simple distancia, si las columnas *t* y *v* pudiesen ser consideradas como si tuviesen una longitud infinita con relacion á la longitud de las corrientes móviles sobre las que obran.

Cuando un hilo está replegado sobre sí mismo (fig. 383) de modo que dé paso á dos corrientes iguales y contrarias su efecto atractivo y repulsivo es evidentemente nulo, porque las acciones que ejerce sea sobre imanes sea sobre las corrientes se destruyen siempre como si fuesen iguales y opuestos.

248. *Accion de las corrientes sinuosas.* — La accion de una corriente sinuosa cualquiera, es equivalente á la de una corriente lineal, de la misma longitud y de la misma intensidad, con tal que estas acciones se ejerzan á una distancia muy grande con relacion á la amplitud de las sinuosidades. Esto es lo que se demuestra por medio de la columna de la figura 384 que está compuesta de una lámina de me-



tal y de un hilo de cobre cubierto de seda con el que comunica por su extremo y descende en sinuosidades como lo manifiesta la figura. Esta lamina puede estar situada á alguna distancia de la columna  $v$ , y entonces cuando la corriente ha descendido por esta columna se la hace remontar por la lámina para que vuelva á descender por el hilo y no se percibe que este sistema ejerza la menor accion sobre el rectángulo móvil del que está muy vecino. Asi la lámina y el hilo sinuoso representan simplemente una corriente ascendente y otra descendente cuyos efectos se destruyen por lo que la accion de los hilos sinuosos es solo equivalente á la de la lámina.

De esto resulta que se puede siempre reemplazar una corriente curvilínea de pequeña estension, ó por su cuerda  $ab$  ó por sus dos proyecciones  $ac$  y  $bc$  (fig. 385) que hagan entre sí un ángulo cualquiera. Si el hilo sinuoso del experimento precedente estuviese envuelto en espiral su efecto sobre el rectángulo seria aun igual al de la corriente linear; con todo no seria al caso deducir de esto que una espiral pueda siempre ser reemplazada por un hilo, si solo que en el caso de que se trata su resultante es la misma.

249. *Accion de las corrientes cruzadas.* — Se llaman corrientes *cruzadas* las que no son paralelas sea que se hallen en el mismo plano y que sus direcciones puedan hallarse, sea que se hallen en planos diferentes y que sus direcciones no puedan hallarse. En el primer caso el punto de *cruzamiento* es el punto de encuentro, en el segundo caso es uno de los puntos de la menor distancia de las corrientes. *Dos corrientes cruzadas tienden siempre á ser paralelas para marchar en el mismo sentido, ó en otros términos; hay atraccion entre las partes que van aproximándose las unas á las otras, ó alejándose la una y la otra del punto en que se cruzan; y repulsion entre las partes que van la una alejándose y la otra aproximándose de este mismo punto.*

Asi  $ab$  y  $cd$  (fig. 386) siendo dos corrientes cuyo punto de interseccion está en  $r$ , hay atraccion entre las dos partes  $ar$  y  $cr$  porque se aproximan á  $r$ , y entre las partes  $br$  y  $rd$  porque se alejan de él; pero hay repulsion entre  $ar$  y  $rd$  porque la una se aproxima y la otra se aleja de  $r$ , y repulsion semejante entre  $cr$  y  $rb$  por la misma razon.

El aparato de las figuras 387 y 388 sirve para demostrar esta proposicion: en un disco de madera se han hecho dos regueras semicirculares interceptadas por la separacion no conductriz  $a$  y  $b$  (fig. 388), en el centro se eleva un eje sobre el que descansa una aguja de cobre



*cd* muy móvil cuyos extremos encorvados son de hierro, y se sumergen en el mercurio de los sulcos; un poco encima de esta aguja se halla otra *ef* la que se hace marchar con la mano, cuyas estremidades se introducen tambien en el mercurio de los sulcos; la corriente que entra por la copa *x* pasa por las dos agujas y vuelve á salir por la copa *y*. Se demuestra la repulsion introduciendo las agujas en las posiciones *cd* y *ef* (fig. 388), y la atraccion poniéndolas en otra posicion cualquiera, en que el ángulo *erf* sea menor que un ángulo recto.

Resulta de esto que una corriente angular *abc* (fig. 389) tiende á rectificarse porque las partes *ab* y *bc* se repelen.

Esta repulsion no tiende solo á volver *bc* en la prolongacion de *ab*, sino que se ejerce tambien cuando esta condicion está llenada, es decir que las porciones contiguas de una misma corriente rectilinea se repelen. Esta consecuencia que es importante en la teoria de Ampere no me parece con todo demostrada de un modo completamente satisfactorio. Aqui está el aparato de que se hace uso. Un vaso lleno de mercurio y separado en dos partes por un tabique no conductor *ab* (fig. 390), un hilo de cobre cubierto de seda está plegado para pasar de la una parte á la otra presentando en cada una de las dos reparticiones una rama horizontal paralela al tabique; esta rama está revestida de cera escepto en su estremidad en que se encorva un poco para sumergirse en el mercurio. Haciendo llegar los dos polos de la pila en la prolongacion de las dos ramas del hilo, se ve que el hilo entero retrocede y que parece anunciar una repulsion entre la parte de la corriente que penetra en el hilo, y la que se halla aun en el mercurio. Pero no se conoce bastante el modo segun el que una corriente pasa de un líquido á un sólido; para que esta consecuencia sea del todo rigorosa bastaria por ejemplo que una porcion de la corriente se presentase oblicuamente al hilo á fin de que tuviese lugar una cierta repulsion.

230. *Rotacion de una corriente por la accion de una corriente.* — Concibamos una corriente fija indefinida *ab* (fig. 391) y una corriente *cd* móvil paralela á la misma; hallándose en *r* el punto en que se cruzan habrá atraccion en el ángulo *brd* entre las partes *rb* y *cd* que van la una y la otra alejándose del vértice del ángulo, ó del punto en que se cruzan: habrá al contrario repulsion en el ángulo *ard* porque la parte *ar* se aproxima al paso que la parte *cd* se aleja; estas dos fuerzas dan origen á una resultante paralela *ab* que tiende á impeler incesantemente la corriente *cd* de *a* hácia *b*.



Si la corriente fija  $ab$  está replegada en círculo entonces es evidente que  $cd$  deberá girar indefinidamente en virtud de la misma acción.

Esto es lo que se realiza en el aparato representado por la figura 392.  $azsb$  (fig. 392) es una cinta de cobre cubierta de seda plegada en helice y adaptada al rededor del vaso de cobre  $v$ ;  $ci$  es un conductor que comunica con el pie de la columna á taza  $p$  que lleva el hilo  $m$ , y  $d$  comunica con el vaso  $v$ . Si se pone el polo positivo de la pila en  $a$ , y el polo negativo en  $d$ , despues de haber establecido una comunicacion de  $d$  á  $c$ , y llenado el vaso  $v$  de agua acidulada, se obtiene una corriente que marcha por la helice de  $z$  á  $s$  haciendo el giro al rededor del vaso la que descende á las ramas verticales del hilo, y esta se pone á girar segun  $zis$ . Si al contrario se pone el polo positivo de la pila en  $b$ , y el polo negativo siempre en  $d$  despues de haber establecido una comunicacion de  $a$  á  $c$  entonces la corriente marcha por la helice de  $s$  á  $z$ , haciendo el giro al rededor del vaso, es siempre descendente en las ramas verticales del hilo que rodea entonces en sentido contrario, es decir segun  $siz$ . Este trastorno basta para demostrar que la rotacion no es debida á la acción de la tierra, porque siendo siempre la corriente descendente en el hilo, la tierra la haria siempre girar en el mismo sentido.

Se debe á M. Savary otra consecuencia del mismo principio; cuando en un vaso de cobre análogo al precedente, pero sin helice, se dispone el aparato de la figura 393, se observa tambien una rotacion continua, la que se explica del modo que sigue. No siendo conductriz la rama vertical del hilo  $n$ , la corriente descende solo por la rama  $l$  y recorre la cinta de cobre en el sentido  $abc$ , porque esta cinta está interrumpida de  $c$  á  $a$  por una lámina de marfil: de la cinta la corriente se dirige sea á los bordes, sea al fondo del vaso atravesando el líquido, y pudiendo ser consideradas estas corrientes parciales del líquido como fijas con relacion á la cinta móvil, se ve que esta debe girar en el sentido  $cba$ , y que giraria aun en el mismo sentido si la corriente pasase del líquido á la cinta en lugar de pasar de la cinta al líquido. Para trastornar el sentido de la rotacion seria menester interrumpir la cinta en la izquierda de su union con  $l$  en lugar de interrumpirla en la derecha; esto es lo que está en efecto confirmado por la esperiencia: pero cuando la cinta es continua como en el aparato de la figura 392, las corrientes del líquido cesan en su influencia, ó mas bien sus influencias se destruyen porque es fácil ver que son iguales y opuestas.



*Teoría del magnetismo y de la mútua accion de los imanes y de las corrientes considerando los imanes como conjuntos de corrientes.*

251. El principio de esta teoría consiste en mirar cada molécula de un iman como envuelta por una corriente particular que se mueve sin cesar, sea en lo interior, sea en lo exterior de la molécula, formando así un circuito cerrado, y reentrando sobre sí mismo, al que, por simplicidad se le puede atribuir la forma circular. En vista de esto si se concibe en un barrote cilindrico un simple hilo de moléculas paralelas al eje, su conjunto formará el sistema representado en la figura 394: todos los demas hilos paralelos dando origen á sistemas análogos, el barrote no será mas que una haz compuesta de infinidad de sistemas semejantes: pero se ve que todos los circuitos elementales contenidos en una misma seccion perpendicular al eje podrán siempre ser representados por un solo circuito que será su resultante y que por último resultado el barrote magnético podrá ser considerado como un simple conjunto de corrientes circulares que marchen todas en el mismo sentido, y contenidas en planos paralelos entre sí y perpendiculares al eje del barrote teniendo además sus centros sobre este mismo eje cuando la magnetizacion es regular.

Lo que se acaba de decir de un barrote cilindrico puede aplicarse á una aguja, ó en general á un iman de cualquiera forma; bastará siempre considerar el eje magnético, y alrededor de este eje, corrientes circulares de magnitud finita perpendiculares á su direccion, y que marchan en el mismo sentido.

Segun esto es fácil imitar los imanes, sino con exactitud, á lo menos con una mayor ó menor aproximacion; porque basta tomar un hilo de metal cubierto de seda y hacerle pasar una corriente despues de haberle envuelto, como lo representa la figura 395 en círculos separados por porciones rectas. Estos sistemas de corrientes se llaman *cilindros electro-dinámicos*, ó *solenoides*: Hay no obstante alguna diferencia entre los solenoides y los imanes, porque los círculos de solenoides no son del todo cerrados, pues que comunican entre sí, y porque es la misma corriente que les atreviesa. Pero estas diferencias, no pueden impedir la analogia general de los efectos; por lo demas basta envolver el hilo como se ve en la figura 395 para neutralizar el efecto de la porcion recta del hilo que une los diferentes círculos, porque entonces en esta línea habrá corrientes iguales y contrarias.

Un hilo envuelto en helice (fig. 396) en nada difiere del solenoide



precedente, y el hilo recto y plegado en el eje neutraliza del mismo modo el efecto de la obliquidad del hilo de cada espiral.

Para representar todos los fenómenos de una aguja ó de un imán dado, sin duda que nada mas seria menester que envolver siempre el hilo sobre un cilindro, pero lo mas comun seria mejor envolverlo sobre conos, opuestos (*fig. 397*) ó sobre moldes de otra forma que no sean una superficie de revolucion.

En la hipótesis de que se trata el globo de la tierra debe ser tambien considerado como zurcado por corrientes interiores paralelas al ecuador magnético, pero en cada lugar se podrá siempre concebir que el conjunto de acciones de todas estas corrientes se reduce á la accion de una sola corriente hipotética á la que se deberá por consiguiente atribuir una intensidad y posicion convenientes para representar su conjunto; llamamos á esta corriente, *corriente media de la tierra*; en el ecuador magnético la corriente media se halla en un plano vertical, pero en todos los demas lugares es mas ó menos inclinada: vamos á ver desde luego como se puede determinar su direccion, y su posicion.

252. *Direccion de la corriente terrestre.* — Es fácil demostrar que *la corriente media de la tierra es dirigida de este á oeste*. En efecto siendo sensiblemente horizontal en cualquiera lugar la parte mas eficaz de la corriente, basta someter á su accion una corriente vertical móvil alrededor de un eje tambien vertical y observar sus posiciones de equilibrio. Pero se ha comprobado antes (241) que bajo la accion de la tierra una tal corriente móvil se dirige siempre perpendicularmente al plano del meridiano magnético y que se detiene en el *este* cuando es *ascendente*: De esto se sigue que la misma corriente terrestre es perpendicular al plano del meridiano magnético y marcha del este al oeste. Con todo este experimento que da fácilmente la direccion de la corriente terrestre, nada decide sobre su posicion: puede pasar en el lugar mismo de la observacion ó al norte ó al mediodia como se ve en la figura 338: si estuviese por ejemplo en el mediodia en *cd*, produciria el mismo resultado; porque siendo *g* el eje de proyeccion de rotacion, y *hik* la circunferencia que puede describir la corriente móvil que supondremos ascendente, es claro que hallándose en *h* esta corriente móvil seria repelida por la corriente terrestre que se aproxima al punto de interseccion mientras que ella se aleja de *el*, y seria al contrario ó atraida por *cr* que se aleja como ella del punto de interseccion: en virtud de esta doble fuerza marcharia pues hácia el punto *i* que



seria su sola posicion de equilibrio. Se haria el mismo raciocinio sobre la corriente *ef* que se halla en el norte del lugar de la observacion.

253. *Posicion de la corriente terrestre. En cada lugar la corriente terrestre se halla en un plano perpendicular á la aguja de inclinacion.* — Para demostrarlo basta notar que cuando una corriente rectangular *abcde* (fig. 399) está bien equilibrada alrededor de su eje de rotacion y que no está solicitada sino por una sola corriente *gh* paralela á este eje es necesario para la estabilidad del equilibrio: 1.<sup>o</sup> que su plano coincida con el plano determinado por el eje y por la corriente: 2.<sup>o</sup> que marche con paralelismo á la corriente por su lado mas cercano. Esta consecuencia que es independiente de la direccion del eje de rotacion, se aplica evidentemente al caso en que este eje sea horizontal como tambien la corriente, que solicita el rectángulo. Por consiguiente si se dirige el aparato de la figura 400 de modo que el eje de rotacion sea paralelo á la corriente terrestre, es decir, segun lo que acabamos de ver perpendicular al meridiano magnético, es claro que el plano en el que la corriente rectangular se pondrá en equilibrio será rigorosamente el plano en el que se halla la corriente terrestre. Haciendo el esperimento se halla que el plano de equilibrio es perpendicular á la aguja de inclinacion.

Este resultado que es difícil de darlo riguroso, por motivo de los rozamientos, se halla por lo demas confirmado por el conjunto de observaciones.

Una corriente circular, ó de otra forma presentaria los mismos efectos.

Despues de haber comprobado la direccion y la posicion de la corriente media de la tierra vamos á aplicar la teoria á la esplicacion de diferentes fenómenos.

*Accion de la tierra sobre las corrientes.*

254. *Direccion de las corrientes cerradas.* — Los lados horizontales del rectángulo de la figura 405 siendo atravesados por corrientes contrarias nada pueden experimentar por parte de la corriente terrestre de la que están igualmente alejados: el aparato se reduce pues á los dos lados verticales que deben dirigirse el uno al este y el otro al oeste como se acaba de ver. Ademas el rectángulo se ha de colocar perpendicularmente al meridiano magnético, y tener su equilibrio estable cuando el lado descendente está al este, el lado ascendente al oeste: esto es en efecto lo que se ha observado (240.)

La misma esplicacion se aplica al círculo de la figura 402, del que



cada cuadrante puede, con relacion á la accion terrestre, ser representado por sus proyecciones horizontales ó verticales de modo que se trasforma en un rectángulo.

Resultaria lo mismo con todo otro circuito cerrado contenido en un plano vertical, y móvil alrededor de un eje vertical.

255. *Rotacion de las corrientes horizontales.* — La corriente horizontal *ab* móvil alrededor del punto *a*, siendo solicitada por la corriente terrestre que es tambien horizontal, colocada debajo de ella y hácia el sud como lo representa la figura 403 debe girar en el sentido *bcdf* cuando la corriente marcha de la circunferencia al centro, y en el sentido *bfdc* cuando va al contrario del centro á la circunferencia. En efecto en la posicion *ab* siendo las corrientes del aparato y de la tierra paralelas y marchando en el mismo sentido hay una atraccion que tiende á llevar el punto *b* á *c*; en esta posicion *ro* repele *ca* y *rh* le atrae; debe pues continuar su marcha hasta á *d*: aqui hay repulsion entre las corrientes paralelas y opuestas, y en *f* hay atraccion de *ro*, repulsion de *rh*; asi la corriente *ab* debe hacer su movimiento continuo como en efecto se ha observado antes.

*Accion de la tierra sobre los imanes.*

256. *Declinacion.* — Pues que una corriente circular cerrada se dirige perpendicularmente al meridiano magnético, resulta que un conjunto de un número cualquiera de círculos paralelos entre sí y atravesado por corrientes que marchen en el mismo sentido, debe colocarse en la misma direccion: pero un tal conjunto no es otra cosa que un solenoide; por lo que un solenoide horizontal debe girar de manera que su eje esté en la direccion de la aguja de declinacion, hallándose en el oeste la corriente ascendente: esto es lo que en efecto se verifica por medio del solenoide de la figura 404 que se adapta al aparato de la figura 368.

Resulta de esto que no solo la aguja de declinacion puede ser asimilada á un solenoide, sino que el polo austral de los imanes, es decir el que se dirige hácia el norte, es aquel por quien el lado ascendente se halla en la *derecha* cuando se le mira *por el frente*, ó lo que es lo mismo cuando una aguja de declinacion está en equilibrio las corrientes de su superficie *inferior* van del *este* al *oeste*, como la corriente terrestre.

257. *Inclinacion.* — Pues que una corriente cerrada móvil al rededor de un eje perpendicular al meridiano magnético se dirige segun un plano perpendicular á la aguja de inclinacion es evidente que un



solenoides bien equilibrado cuyo eje de figura fuese móvil en el meridiano magnético se pondría en equilibrio tomando rigurosamente la dirección de la aguja de inclinación. Sería sin duda difícil el hacer solenoides bastante móviles para verificar este resultado por medio de un experimento directo, pero basta la aproximación que se puede obtener por medio del aparato (fig. 400) para demostrar que aun en la inclinación, la aguja magnetizada se conduce como un verdadero solenoide.

258. *Variaciones diurnas y perturbaciones.* — En la teoría ordinaria del magnetismo no se pueden explicar estos fenómenos sino admitiendo modificaciones particulares en el estado del magnetismo terrestre, y se comprende que no hay mas dificultad en atribuir estas modificaciones á una mutación en la corriente eléctrica, que á una mutación en la distribución magnética.

*Accion natural de los imanes y de las corrientes.*

259. *Dirección de los imanes por las corrientes.* — Se han resumido los diferentes efectos de la acción primitiva observada por M. Oersted, diciendo que *la corriente tiende á poner la aguja en cruz con ella, y el polo austral á la izquierda* (224). Veamos como este hecho general pueda entretanto explicarse mirando al iman como un solenoide. Si concebimos una corriente vertical fija y ascendente *ab* (fig. 405) y una corriente rectangular móvil al rededor de un eje horizontal *cd* es evidente que el plano del rectángulo se hará vertical, tendiendo á subir el lado *ef* y tendiendo á bajar *gh*; porque alejándose en el lado *ef* la corriente del punto de intersección con relación á la corriente *ab* es atraído por la parte superior de esta corriente y repelido por la parte inferior; lo contrario sucede á *gh* por lo que el plano del rectángulo pasará á vertical: una vez se halle en esta posición tiende á volverse de modo que pase por la dirección de la corriente vertical *ab*, porque el lado vertical mas inmediato es atraído y el otro repelido. Asi cuando una corriente rectangular perfectamente móvil es solicitada por una corriente vertical fija tiende á volverse hácia un plano vertical que pase por la dirección de la corriente fija, y á arreglarse de modo que su lado mas inmediato marche en el mismo sentido que esta corriente.

Si consideramos entre tanto tres corrientes rectangulares equidistantes (fig. 406), es evidente que la de enmedio se hallará en el plano vertical de la corriente fija, siendo las otras dos solicitadas por fuerzas cuya resultante se hallará en este plano. Si en lugar de concebir



solo tres, consideramos un solenoide compuesto de una infinidad de rectángulos, resultará por la misma razon que el eje del solenoide se hallará exactamente *en cruz con la corriente*.

Este resultado se aplica á un círculo del mismo modo que á un rectángulo; por lo que un solenoide cualquiera solicitado por una corriente se pone en cruz con ella.

Podemos ademas añadir que el polo austral está en la izquierda; porque hallándose la izquierda de la corriente detrás del plano de la figura 407, si se mira cara á cara el extremo del solenoide que está detrás de este plano se ve en efecto que se tiene la corriente ascendente á la derecha, cual carácter es el del polo austral (256). Asi, por último resultado, la condicion de equilibrio entre un solenoide, y una corriente rectilínea es que la seccion media del solenoide y la corriente estén en un mismo plano, y que el polo austral del solenoide esté en la izquierda de la corriente.

Esta direccion del solenoide libre, ó de la aguja magnetizada libre una vez demostrada, se comprende cuan fáciles son de esplicar sean las condiciones de equilibrio de los imanes que no pueden moverse sino al rededor de un eje dado, ó sobre planos dados, sean las condiciones de equilibrio de las corrientes sujetas de un modo cualquiera y solicitadas por imanes.

260. *Rotacion de los imanes por las corrientes.* — Cuando el iman gira sobre sí mismo como en la figura 408, Ampere explica la rotacion del modo siguiente: siendo *abcd* la seccion del aparato por la superficie del mercurio, y siendo *af* una de las corrientes que resbalan encima la superficie del mercurio para ganar el anillo de cobre por el que debe salir del vaso, la porcion *ab* es atraida por *af* mientras que *ad* es repelida; por consiguiente el iman debe girar en sentido contrario de la corriente que le constituye. Cuando la corriente pasa al contrario del mercurio al iman este gira en el sentido de su corriente.

Quando el iman describe un círculo al rededor del conductor que se sumerge en el mercurio (fig. 409) la esplicacion es un poco mas complicada: se dará tal como se halla en la obra de Ampere.

Representétese la seccion horizontal del solenoide por el pequeño círculo *etf'* (fig. 409) del que *a* es el centro y cuya circunferencia *etf'* es una de las corrientes eléctricas de que está compuesto. Suponiendo que esta corriente se mueve en el sentido *etf'* será atraida por las corrientes de mercurio tales como *puz* que se hallan en la figura



á la derecha de  $etf'$  porque la media circunferencia  $etf$  en que la corriente va en el mismo sentido está mas aproximada á ella que  $ft'e$  en donde va en sentido contrario. Sea  $as$  esta atracción igual á la diferencia de las fuerzas ejercidas por las corrientes  $puz$  sobre las dos semicircunferencias la que pasa necesariamente por su centro  $a$ , pues que resulta de las fuerzas que estas corrientes ejercen sobre todos los elementos de la circunferencia  $etf'$  que les son perpendiculares, y son por consiguiente dirigidas segun los radios de esta circunferencia. La misma corriente  $etf'$  del solenoide es al contrario repelida por las corrientes que como  $p'u'z'$  están en la figura en la izquierda de esta corriente  $etf'$ , porque están en sentido contrario en la semicircunferencia  $ft'e$  la mas vecina de  $p'u'z'$ . Sea  $as'$  la repulsion que resulta de la diferencia de las acciones ejercidas por las corrientes  $p'u'z'$  sobre las dos medias circunferencias  $ft'e$ ,  $etf$ , esta será igual á  $as$  y hará con el radio  $cad$  el ángulo  $das' = cas$ , pues que todo es igual por los dos lados de este radio: la resultante  $ar$  de estas dos fuerzas le será pues perpendicular; y como esta pasará por el centro  $a$  como tambien las dos componentes  $as$ ,  $as'$  el solenoide no tendrá tendencia alguna á girar al rededor de su eje, como se observa en efecto con relacion al iman flotante que representa este solenoide; pero tenderá cada instante á moverse segun la perpendicular  $ar$  al radio  $cad$ : y como cuando se hace este experimento con un iman flotante la resistencia del mercurio destruye cada instante la velocidad adquirida se ve que este iman describe la curva perpendicular á todas las rectas que pasan como  $cd$  por el punto  $c$ , es decir la circunferencia de que  $ac$  es el radio. „

261. *Rotacion de las corrientes por los imanes.* — La esplicacion de este fenómeno apoya en un principio general, el que no puede ser demostrado directamente por la esperiencia, pero que puede, solo por medio del cálculo, deducirse de las propiedades atractivas y repulsivas que se hallan en las corrientes y que hemos demostrado anteriormente. Este principio general puede ser anunciado del modo siguiente: *la resultante de todas las acciones que un solenoide indefinido ejerce sobre una corriente rectilínea de pequeña estension es una fuerza perpendicular al triángulo que tiene por base la corriente y por vértice el extremo del eje del solenoide.* Esta fuerza es aplicada en medio de la longitud de la corriente y es independiente de la direccion del eje del solenoide, que puede ser cualquiera, con tal que su extremo quede siempre en el mismo punto.



Asi  $ab$  (fig. 410) siendo una pequeña corriente rectilínea, y  $s$  el extremo del eje de un solenoide indefinido, es decir del que el otro extremo  $s'$  pueda ser mirado como infinitamente lejano, la resultante  $mv$  de la acción del solenoide sobre la corriente  $ab$  es perpendicular al plano  $sab$  y aplicada al punto  $m$  mitad de  $ab$ ; por lo demas es del todo independiente de la curvatura y de la dirección del eje  $ss'$  que puede tomar todas las posiciones posibles al rededor del punto  $s$ , sin que la resultante experimente mutacion ni en su magnitud, ni en su dirección (1).

En la imposibilidad de demostrar este principio procuraremos no obstante aplicarlo á algunos casos particulares para dar á conocer su exactitud.

1.º Si la dirección prolongada del elemento viene á pasar por el extremo  $s$  del eje del solenoide, la acción se reduce á cero, segun el principio, y esto es lo que es fácil de demostrarse directamente.

Siendo  $ab$  la corriente elemental (fig. 411) y  $s$  el vértice del solenoide concibamos una pequeña corriente circular que tenga su centro en el punto  $s$  y cuyo plano sea perpendicular á  $sab$ ; pasemos un diámetro cualquiera  $cd$  y consideremos los efectos de dos elementos  $x$  e  $y$  diametralmente opuestos: entre el elemento  $x$  y  $ab$  hay atracción porque las dos se aproximan al punto de intersección; pero entre el elemento  $y$  y  $ab$  hay una atracción igual y contraria que destruye la primera, y como sucede lo mismo en todos los elementos diametralmente opuestos resulta evidentemente que la acción del círculo sobre el elemento es del todo nula. Sucederia lo mismo en todos los círculos del solenoide indefinido cuyo eje esté sobre la prolongación de  $ab$ .

Sucederia lo mismo tambien si el primer círculo del solenoide estuviese sobre un plano que pasase por el elemento  $ab$ , y si el eje del solenoide estuviese perpendicular á este plano (fig. 412); porque los

(1) El enunciado precedente basta para el objeto que nos proponemos. Con todo para aquellos que querrán comprender el principio en su estension añadiremos que la resultante de que se trata está en razón directa:

- 1.º De la intensidad de la corriente del solenoide.
- 2.º De la intensidad de la corriente del elemento  $ab$ .
- 3.º De la longitud  $ab$  del elemento.
- 4.º Del seno de la tangente  $ams$  y que al mismo tiempo es en razón inversa del cuadrado de la distancia  $ms$ .



círculos del solenoide siendo indefinidamente pequeños con relacion á la distancia  $sa$ , las acciones opuestas como las que resultan de dos elementos consecutivos en  $c$  y de dos elementos consecutivos en  $d$  siempre se destruyen.

2.º Si la direccion del elemento  $ab$  no pasa mas por el extremo del eje del solenoide, si es por ejemplo perpendicular á este eje y á cierta distancia  $sa$  (fig. 413), hay entonces una resultante perpendicular al triángulo  $sab$ : en efecto los elementos  $e$  y  $f$  paralelos á la corriente  $ab$  producirán efectos iguales y contrarios; pero los dos elementos simétricos  $x$  é  $y$  de la parte superior darán origen á una resultante vertical  $mv$ , y los dos elementos  $x'$  é  $y'$  paralelamente simétricos de la parte inferior darán origen á una resultante vertical dirigida en el mismo sentido que la primera; por lo que la resultante del círculo entero será vertical y por consiguiente perpendicular al triángulo  $sab$ .

Estos ejemplos particulares bastan para dar una idea de las bases sobre que apoya el principio general. Vamos ahora á ver como este principio esplica la rotacion de las corrientes verticales y horizontales producidas por los imanes.

*Corrientes verticales.*  $ab$  (fig. 414) siendo una corriente vertical móvil al rededor del eje  $zx$ , y siendo  $s$  el extremo del eje  $s's$  de un solenoide, la resultante de la accion del solenoide es perpendicular al triángulo  $sab$  en todas las posiciones que la corriente pueda tomar al rededor de su eje de rotacion; por consiguiente la corriente debe girar por un movimiento continuo. La direccion de este movimiento cambia segun el sentido de la corriente  $ab$ , y tambien con el polo del solenoide ó del iman, como se ha observado (244).

*Corrientes horizontales.* El mismo racionio se aplica á la corriente horizontal  $ab$  (fig. 415).

*Acciones de los imanes, los unos sobre los otros.*

262. *Atracciones y repulsiones de los imanes.* — Concibamos un solenoide que se estienda indefinidamente por una y otra parte del punto  $m$  (fig. 416) en el que la corriente marche en el sentido indicado por las flechas; concibamos despues que este solenoide esté cortado en  $m$ , y que las dos partes estén separadas la una de la otra como lo representa la figura 417. Resulta de nuestra definicion (256): 1.º que la estremidad  $a$  es un polo austral porque mirando de frente el círculo que la termina se vé que la corriente *ascendente* se halla á la derecha: 2.º que la estremidad  $b$  es un polo boreal, porque mirando de frente el círculo que la termina se vé que la corriente *ascen-*



dente se halla á la izquierda: asi cortando un solenoide perpendicularmente á su eje los dos polos que resultan son siempre dos polos de nombres contrarios como cuando se rompe un iman.

Ademas es evidente que los polos contrarios  $a$  y  $b$  de dos solenoides se atraen el uno al otro; porque considerando solo los círculos que les terminan se vé que las corrientes son paralelas y dirigidas en el mismo sentido, y sucede lo mismo con todos los demas. Se demuestra ademas por el cálculo que esta atraccion es en razon inversa del cuadrado de la distancia que separa los dos polos  $a$  y  $b$ ; lo que es entre los solenoides, y los imanes una nueva analogia muy fundamental.

Como se demuestra en otro punto lo que se ha ya indicado (261) que la accion de un solenoide indefinido es del todo independiente de la posicion que su eje puede tomar al rededor de su estremidad, resulta que los dos solenoides de la figura 417 pueden tomar todas las posiciones posibles, el uno al rededor del punto  $a$  y el otro al rededor del punto  $b$ , sin dejar por esto de atraerse con la misma intensidad.

Asi cuando se corta un solenoide indefinido, se dá origen á dos polos que son en todo comparables á los dos polos que se obtendrian rompiendo un barrote magnético de una grande longitud.

Cuando un solenoide tiene una longitud determinada, como  $ab$  (fig. 418) sus dos polos  $a$  y  $b$  son evidentemente el uno un polo austral, y el otro un polo boreal, pues que mirando el extremo  $a$  la corriente ascendente está á la derecha, al paso que mirando el extremo  $b$  está á la izquierda. Ademas rompiendo el solenoide definido se obtendrian resultados análogos á los que dan los solenoides indefinidos á lo menos en cuanto al sentido de la accion aunque no en cuanto á la intensidad; porque aqui los segundos polos de cada uno de los solenoides que se obtienen no siendo mas infinitamente alejados, se debe tener cuidado de su accion.

Por consiguiente dos solenoides tales como  $ab$  y  $a'b'$  (fig. 419) que obran el uno sobre el otro dan origen, como dos imanes, á un sistema de cuatro fuerzas, dos atractivas y dos repulsivas; las fuerzas atractivas se ejercen segun  $ab'$  y  $ba'$  y las fuerzas repulsivas segun  $aa'$  y  $bb'$ .

263. *Magnetizacion.* Segun la teoria de que nos ocupamos los cuerpos magnéticos como el hierro dulce y el acero no magnetizado son considerados como que tienen corrientes al rededor de las moléculas



que les constituyen ; solo si somos obligados á hacer con relacion á ellos muchas hipoteses distintas :

1.<sup>a</sup> *Hipotesis.* Se admite que siendo las corrientes dirigidas indistintamente y en confusion en todos los sentidos posibles , el conjunto de acciones que ejercen á fuera está siempre reducido á cero ; porque las que obran en un sentido destruyen siempre el efecto de las que obran en sentido contrario.

2.<sup>a</sup> *Hipotesis.* Se admite que en el momento en que una causa exterior cualquiera llega á hacer sentir su accion sobre las corrientes , estas se arreglan en todo ó en parte bajo un cierto orden para obedecer á la accion que las solicita.

3.<sup>a</sup> *Hipotesis.* Si el cuerpo no tiene fuerza coercitiva , como el hierro dulce , se admite que dejando de obrar la causa exterior , las corrientes por su accion mútua , vuelven al estado de confusion en que se hallaban desde el principio ; pero si el cuerpo está dotado de fuerza coercitiva , como el acero , se admite al contrario , que las corrientes una vez arregladas en conveniente orden para formar solenoides , conservan este orden no obstante las acciones interiores que pueden ejercerse para turbarla.

Se vé , conforme á esto , que la magnetizacion no es mas que un arreglo de corrientes que preexisten en los cuerpos magnéticos : si se vuelven en un sentido , los polos se manifiestan en un cierto orden ; y si se vuelven en sentido contrario los polos se manifiestan en sentido inverso.

Quedan seguramente aun para hacer indagaciones interesantes acerca de estas corrientes moleculares, sea para demostrar su existencia de un modo mas directo , sea para llegar hasta la causa que las produce , sea en fin para determinar las principales circunstancias de las modificaciones que reciben por parte del calor ó de otros agentes físicos ; pero mientras esperamos , nos parece necesario esponer con algunos pormenores una teoría que establece relaciones tan notables entre los fenómenos del magnetismo , y los de la electricidad.

---



## CAPITULO IV.

### Diferentes causas que dan origen á corrientes eléctricas.

264. Pues que las corrientes eléctricas no son otra cosa que la recomposicion de dos fluidos contrarios, resulta de esto que todas las causas que son capaces de desplegar electricidad son tambien capaces de producir corrientes; porque los dos fluidos se despliegan siempre simultaneamente, y como cada fluido libre tiende á reunirse á una igual cantidad de fluido contrario, basta permitir esta reunion para que se produzca la corriente. Se podria pensar que el resultado inverso debe tener siempre lugar, es decir que basta interrumpir una corriente cualquiera para obtener las dos electricidades opuestas en el estado de reposo y de tension; pero no es siempre posible el demostrarlo experimentalmente, sea que nuestros medios de observacion sean aun poco delicados, sea que en ciertos casos la circulacion de la electricidad deba ser realmente una condicion esencial de su desarrollo. Sin decidir nada con respecto á esto, nos limitaremos á advertir que todas las corrientes conocidas hasta al presente deben su origen á cuatro causas diferentes, es á saber: á acciones mecánicas, á acciones físicas, á acciones químicas, á acciones fisiológicas; examinaremos sucesivamente las principales circunstancias de su formacion, y los procedimientos particulares por medio de los que se pueden hacer sensibles.

#### *Acciones mecánicas.*

265. *La frotacion, la presion y la separacion por láminas articulares (clivage)* son tres géneros de acciones mecánicas que pueden distinguirse el uno del otro con relacion á la electricidad que desarrollan, aunque no sepamos si imprimen á los átomos, ó á sus grupos moleculares modificaciones realmente diferentes.

La *frotacion* puede ser variada de mil modos, pero en las máqui-



nas ordinarias, se procuran reunir las condiciones mas propias para dar el máximum de efecto. Cuando en lugar de acumular la electricidad sobre los conductores se la quiere trasformar en corriente basta disponer un hilo de comunicacion entre los conductores y el suelo: este hilo es entonces atravesado por una corriente como si reuniese los dos polos de una pila mas ó menos fuerte, y es en efecto capaz de obrar sobre la aguja magnetizada. Con todo su accion es poco enérgica. Una grande máquina que produzca rápidas y brillantes chispas á una distancia considerable dá una tan débil corriente, que para manifestar su existencia, es menester un multiplicador muy sensible. Una máquina de Nuirne bastante poderosa no dá por ejemplo mas que 30 ó 40 grados de desvío á las agujas compensadas de un multiplicador de 500 vueltas (*Colladon. Annales de fisica y de quimica* t. 23. pag. 62). En estos esperimentos importa sobre todo que las diferentes vueltas del multiplicador sean bien aisladas la una de la otra: para esto es menester dar al hilo una doble ó triple capa de seda y envolverle ademas con tafetan gomoso ó pasarle por un baño de resina fundida y mezclada con goma laca.

Quando las estremidades del multiplicador no están en contacto con los conductores, pero sí solo presentados á distancia la corriente es mas débil y su intensidad parece estar en razon inversa de la distancia á lo menos para las distancias comprendidas entre 1 decimetro y 1 medidera.

Si las corrientes producidas por las máquinas son tan débiles quando se las compara á las que dan las pilas voltaicas, esto se refiere sin duda á la prodigiosa velocidad con la que los fluidos eléctricos se transmiten, y á la lentitud con que la frotacion los escita. Con todo no está demostrado, hasta al presente que la electricidad no tenga mas que un modo único de trasmision al través de los conductores, y no se podrá decidir esta cuestion sino por la medida exacta de cantidades de fluidos que pasen y de los efectos que produzcan.

Se han hecho numerosos ensayos para descubrir como sucede que la frotacion separe electricidad, pero, en este punto, no se ha llegado á nocion alguna precisiva. Se dice á la verdad que la separacion de los fluidos es debida al movimiento de vaibien ó al desalojamiento de las moléculas; pero esta esplicacion nada dice; porque en las mutaciones de estado de los cuerpos hay por cierto movimiento y desalojamiento de las moléculas, y no obstante no se produce electricidad alguna; quedan pues otras condiciones esenciales que no son conocidas.



Algunos físicos suponen, que la frotacion que dá lugar á la electricidad es siempre acompañada de una accion química y que basta impedir esta accion para que deje de producirse electricidad. Esta opinion apoya principalmente sobre el siguiente experimento del Dr. Wollaston (Anales de fisic. y quimic. t. 16 p. 53). Habiéndose encerrado una máquina eléctrica en un vaso en que se podia mudar el aire se veía que el desarrollo de electricidad cesaba ó volvía á tomar su energía segun que el vaso estaba lleno de ácido carbónico ó de aire atmosférico: pero este experimento no basta para demostrar de un modo rigoroso que toda la electricidad resultante de la frotacion se deba en realidad á la accion química que la frotacion determina y no á la accion mecánica que ejerce. Para resolver de un modo claro esta cuestion seria menester descubrir la naturaleza y la cantidad de la accion química producida por la frotacion y compararla á la cantidad de fluidos descompuestos.

Si nos es imposible señalar el verdadero origen de la electricidad que se manifiesta por la frotacion procuraremos á lo menos indicar las principales circunstancias que parecen obrar de un modo constante para modificar su desarrollo. Los numerosos experimentos que se han hecho acerca de este objeto pueden ser reasumidos por las proposiciones siguientes.

1.<sup>a</sup> Dos cuerpos sólidos cualesquiera buenos ó malos conductores, toman siempre por la frotacion el uno electricidad resinosa y el otro electricidad vítrea, cuando se toman las precauciones convenientes para secarles, aislarles, etc. etc.

La frotacion que se ejerce entre los sólidos y los líquidos parece suficiente para desarrollar tambien electricidad en un grande número de casos. El mercurio es probablemente, bajo este aspecto, el mas enérgico de los líquidos.

La frotacion de los líquidos entre sí podria sin duda en todas las circunstancias convenientes desarrollar tambien electricidad.

La frotacion de los gases, sea entre sí, sea con los líquidos ó los sólidos, no parece, en caso alguno, desarrollar electricidad, á lo menos cuando los gases no están cargados de particillas sólidas ó líquidas.

2.<sup>o</sup> Cuando se eleva la temperatura de un cuerpo se le dá una tendencia á tomar electricidad resinosa, y como esta tendencia no es la misma por aumentos iguales de temperatura, resulta que frotando dos cuerpos en temperaturas diferentes, el que es vítreo en una temperatura mas baja puede pasar á resinoso en una temperatura mas alta;



resulta tambien de esto que dos pedazos de una misma sustancia aunque perfectamente semejantes, é igualmente frotados pueden dar electricidad si se hallan en temperaturas diferentes; en este caso el mas caliente toma siempre la electricidad resinosa.

3.º El estado de la superficie de un cuerpo no deja de tener influjo sobre la especie de fluido que manifiesta por la frotacion: se nota en general que las pequeñas asperezas de la superficie dan á los cuerpos, y particularmente á los malos conductores, una tendencia á tomar electricidad resinosa. Asi frotando la una con la otra dos láminas del mismo vidrio la una pulida y la otra no pulida, la primera toma electricidad vítrea y la segunda electricidad resinosa: con todo hay otras causas que producen el mismo efecto como se ha indicado para la disthène (192).

4.º Una lámina de metal toma siempre la electricidad vítrea cuando es frotada por polvo mas ó menos fino del mismo metal (Becquerel t. 2 p. 117): se hace el esperimento poniendo en contacto con uno de los platillos del condensador una pequeña copa en la que se recibe la limadura fina metálica que ha sido arrojada con mayor ó menor velocidad sobre una lámina del mismo metal que se tiene en la mano; la electricidad de que se carga el condensador demuestra que las limaduras han tomado la electricidad resinosa por su frotacion rápida sobre la lámina.

5.º Dos láminas de diferentes metales frotadas la una contra la otra toman bastante electricidad para dar origen á una corriente sensible: se hace el esperimento adaptando las láminas en los dos extremos del hilo de un multiplicador y haciéndolas resbalar en seguida la una contra la otra; el sentido del desvío de la aguja indica la especie de fluido que se desarrolla en cada lámina y se ha podido formar asi la tabla que sigue en la que cada metal es vítreo con los que le siguen y resinoso con los que le preceden (*Becquerel t. 2, p. 114*):

Antimonio.	Plata.	Platina.
Arsénico.	Oro.	Paladio.
Admium.	Cobre.	Cobalto.
Hierro.	Estaño.	Nikel.
Zinc.	Plomo.	Bismuto.

6.º La tension de la electricidad desarrollada por la frotacion es independiente de la velocidad de la presion, de la estension de las



superficies en contacto, del espesor de los cuerpos que frotan, y del modo de frotar (Peclet. Anal. de fisic. y de quimic. t. 57, p. 337).

266. La simple presion sin frotacion lateral ejerce sobre las moléculas de los cuerpos una accion mecánica que no es ciertamente la misma que la de la frotacion, aunque sea difícil de señalar con precision en que consiste la diferencia; con todo la presion es tambien capaz de desarrollar electricidad como se ha visto (216).

M. Becquerel ha construido un grande aparato para estudiar estos fenómenos, y de sus numerosas indagaciones parece resultar que la cantidad de fluidos separados es proporcional á la presion. Los líquidos no han estado sujetos á estas pruebas, y los gases que son tan eminentemente compresibles no han manifestado apariencia alguna eléctrica. Por lo demas parece que limitando aun este objeto á los cuerpos sólidos puede ser que ofrezca mucha menor importancia que dificultades: es probable que se produciria una corriente con esta electricidad tomando muy delgados los discos que deben ser comprimidos, y pegándoles sobre láminas de metal las que sean adaptadas en los dos extremos del hilo de un conveniente multiplicador.

El separar por láminas se efectua con mayor ó menor facilidad en la mayor parte de los cuerpos lamelares regularmente cristalizados como el talco, la mica, la cal sulfatada, la barita sulfatada, el feldspato, el topacio etc. Si se fijan mangos aislantes en las dos grandes caras de una lámina delgada de uno de estos cuerpos, y por un esfuerzo particular se les divide en dos en el sentido de sus articulaciones, las dos láminas que resultan son electrizadas la una por electricidad vítrea, y la otra resinosa (Becquerel t. 2. p. 112).

Estas electricidades son sin duda muy débiles para poderlas transformar en una corriente sensible.

#### *Acciones físicas.*

267. Las acciones físicas que desarrollan electricidad son: las acciones capilares y las acciones del calor, del magnetismo y de la electricidad; porque hasta al presente no se tiene motivo para pensar que la accion de la luz pueda en circunstancia alguna determinar la separacion de los fluidos eléctricos.

268. M. Becquerel atribuye á la accion capilar los fenómenos eléctricos que ha observado en las siguientes circunstancias:

En el uno de los extremos de un multiplicador muy sensible se



adapta una cuchara de platina llena de ácido nítrico puro; en el otro extremo del mismo hilo se adapta una esponja de platina lavada con esmero en el ácido nítrico, y despues calentada hasta al rojo; se sumerge en seguida esta esponja en el ácido de la cuchara y se observa un desvio en la aguja del multiplicador: el sentido de la corriente demuestra que la esponja ha tomado electricidad uegativa: con todo despues de algunos instantes se observa una corriente contraria.

Cuando el ácido está estendido en la mitad de su peso de agua no se observa mas que el primer efecto; no hay corriente inversa.

El ácido clorídrico concentrado dá efectos inversos de los del ácido nítrico puro.

Estos hechos puede ser que sean demasiado restrictos y demasiado complexos para que sea permitido deducir de un modo general que la accion capilar desarrolla electricidad.

269. La accion del calor no se hace solo sentir sobre la turmalina y sobre otros cristales para hacerles eléctricos como se ha visto (217) sino que se hace sentir tambien sobre los cuerpos buenos conductores y particularmente sobre los metales para desarrollar corrientes mas ó menos enérgicas, las que han sido descubiertas en 1821 por el Dr. Seebeck de Berlin; estas corrientes que se llaman *termo-eléctricas*, por motivo de su origen, constituyen en el dia bajo el nombre de *termo-magnetismo* una de las ramas mas interesantes del *electro-magnetismo*. No daremos á conocer aqui mas que las principales condiciones bajo las que se producen, pero en uno de los capítulos que siguen procuraremos establecer las notables leyes de su intensidad.

Las indagaciones que se han hecho sobre la formacion de estas corrientes pueden ser resumidas en algunas proposiciones generales que vamos á examinar sucesivamente.

*Primera proposicion.* En dos hilos metálicos, estando soldados por sus extremos de modo que formen un circuito cerrado de cualquiera forma, se establece en el círculo una corriente mas ó menos enérgica todas las veces que las dos soldaduras se hallen en temperaturas diferentes, y la corriente persiste tan largo tiempo como se mantiene la diferencia de temperaturas.

Se demuestra esta proposicion por un caso particular por medio del aparato que está representado en la figura 420: *ss'* es un cilindro de bismuto, *ses'* una barra ó una lámina de cobre encorvada y soldada en las estremidades *s* y *s'* del cilindro de bismuto, *ab* una aguja magnetizada libre sobre su eje. Siendo de la temperatura del ambiente



las soldaduras  $s'$  y  $s$ ; se dirige el plano vertical del aparato segun el meridiano magnético: en este caso si se calienta la soldadura  $s$  por ejemplo la aguja experimenta un desvío mas ó menos considerable y si se enfria la misma soldadura  $s$  bajo la temperatura ambiente, la aguja experimenta un desvío en sentido contrario.

Estos movimientos de la aguja tan pronto en un sentido tan pronto en otro acusan bien evidentemente una corriente eléctrica que se propaga en un sentido cuando la soldadura  $s$  es mas caliente que la soldadura  $s'$ , y en el sentido opuesto cuando al contrario la soldadura  $s'$  es mas caliente que la  $s$ . Esta consecuencia se confirma tambien obrando sobre la soldadura  $s'$  en lugar de obrar sobre la  $s$ .

No todos los metales dan resultados tan sensibles como el bismuto y el cobre, pero entonces en lugar de una sola aguja, se emplea un sistema de dos agujas compensadas como se ve en la figura 421, la chapa superior  $s$  está abierta para dejar pasar la aguja inferior y el eje se eleva hasta la aguja superior.

Para hacer ver que la diferencia de temperaturas mas imperceptibles entre el bismuto, y el cobre son capaces de desarrollar corrientes muy enérgicas se emplea el aparato que está representado en la figura 422.

En fin para un grande número de experimentos es necesario acudir á emplear el multiplicador; pero los multiplicadores *thermo-eléctricos* en general han de ser compuestos con un hilo recio, y no han de tener sino un pequeño número de vueltas como se explicará despues (cap. vi); si con los dos extremos de un hilo de cobre de un tal multiplicador se toca, por ejemplo, un pedazo de bismuto, ó de antimonio, se verá que la menor diferencia de temperatura en los puntos de contacto determina un desvío considerable.

Para estudiar por este medio las corrientes thermo-eléctricas dadas por dos metales cualesquiera como el hierro y la platina, basta cortar en dos un hilo de platina y adaptar cada una de estas mitades á cada uno de los extremos del multiplicador, de modo que el contacto sea del todo metálico; en este caso con tal que las uniones estén exactamente en la misma temperatura, el multiplicador, armado en sus dos extremos de platina, gozará de las mismas propiedades, que si fuese del todo compuesto de un hilo de platina continuo, es decir que tocando entre tanto un hilo de hierro los dos extremos del multiplicador, se tendrán corrientes que no podrán resultar mas que de la diferencia de temperatura de los dos puntos de contacto del hierro y de la platina.



Sujetando los diferentes metales á esta prueba, ó á otras análogas se llega fácilmente á demostrar la proposicion general que se ha anunciado; pero se conoce al mismo tiempo que los diferentes pares metálicos tienen bajo este aspecto sensibilidades muy diferentes, porque en las mismas circunstancias, las unas dan corrientes de una grande energía, y las otras corrientes escesivamente débiles.

Se ha tambien ensayado por los mismos medios el clasificar los metales en razon de su tendencia á tomar la electricidad positiva ó negativa, y los resultados que se han obtenido están representados en la tabla que sigue, en que cada metal es positivo con todos los que le siguen, y negativo con todos los que le preceden.

Antimonio.	Latón.	Cobalto.
Arsénico.	Rhodium.	Palladium.
Hierro.	Plomo.	Platina.
Zinc.	Estaño.	Nickel.
Oro.	Plata.	Mercurio.
Cobre.	Manganesa.	Bismuto.

M. Becquerel ha observado que en muy altas temperaturas el hierro y la platina cambian de estado; pero esta inversion no parece constante; porque yo no he observado esto en un muy grande número de experimentos de que se hablará en el artículo del *pyrómetro magnético*, destinado á la medida de las mas altas temperaturas.

*Segunda proposicion.* Cuando se calientan ó se enfrian algunos puntos de un circuito metálico cerrado, y compuesto de un metal homogéneo, se determinan bajo ciertas condiciones, corrientes mas ó menos enérgicas.

El bismuto y el antimonio parecen ser los metales mas propios para demostrar este notable fenómeno; asi tomando por ejemplo un pedazo de antimonio de forma cualquiera, y disponiendo suspendida sobre una de sus caras una pequeña aguja ligeramente magnetizada se hallan siempre en el contorno de este pedazo muchos puntos tales que calentándoles se imprime á la aguja magnetizada un desvío muy sensible en un sentido ó en otro: esta observacion es debida al Doctor Seebeck.

Muchos físicos han estudiado este notable fenómeno: MM. Yelin, Cumming, y Sturgeon se han aplicado particularmente á dar formas regulares á los pedazos de bismuto de antimonio, ó á componer con estos metales circuitos rectangulares, elípticos, circulares, etc., etc.,



para determinar los puntos mas eficaces, y las direcciones de las corrientes que resultan de la calorificacion, y del enfriamiento de estos puntos. Pero hasta al presente nos parece imposible anunciar ningun hecho general, sea sobre la direccion, sea acerca la intensidad de estas corrientes singulares; porque semejantes circuitos, y de magnitudes diferentes dan casi siempre resultados diferentes.

Algunos observadores atribuyen estos efectos á grupos cristalinos que se forman durante el enfriamiento de los metales los que impiden la uniforme propagacion del calor en todos sentidos. Esta opinion no es infundada, aunque nos parece que serian necesarias observaciones mas directas para establecerla de un modo riguroso.

M. Becquerel ha dado mas estension á este hecho curioso: ha demostrado que se aplica tambien á hilos de platina, y analizando con su sagacidad ordinaria las principales circunstancias que modifican los resultados ha establecido el principio que sigue: Cuando un hilo de platina forma un circuito cerrado, y encima de un punto de su longitud se halla un obstáculo cualquiera capaz de entorpecer la propagacion del calor, si se calienta el hilo á una pequeña distancia de este punto se produce una corriente la que en este intervalo es dirigida hácia el obstáculo, y corre en el mismo sentido toda la estension del circuito.

Asi poniendo los dos extremos de un hilo de platina en contacto con las dos estremidades de un multiplicador y manteniendo estas conjunciones exactamente en la misma temperatura para impedir los efectos termo-eléctricos ordinarios, se obtienen corrientes dirigidas de *a* á *b* cuando se calienta en *a* despues de haber replegado el hilo en espiral en *b*, ó despues de haber hecho en él un simple nudo como se ve en la figura 423.

Se obtienen efectos análogos con el cobre cuando está un poco oxidado, asi enganchando en *b* los dos extremos de un multiplicador (fig. 424) y calentando en *a* se manifiesta una corriente de *a* á *b* cuando los hilos están perfectamente limpios (*Becquerel*, t. 2, pág. 40.)

Con todo Nobili ha obtenido corrientes inversas con metales mas oxidables como el zinc, el hierro y el antimonio. (*Biblioth univ. de Genève*, t. 27, pág. 118.)

#### *Acciones químicas.*

270. Las acciones químicas son tan prodigiosamente diversificadas que no se pueden examinar aqui circunstanciadamente para estudiar



los fenómenos eléctricos que las acompañan; con todo indicaremos los hechos mas generales, á fin de justificar alomenos por medio de algunos ejemplos notables el principio fundamental que parece no admitir escepcion alguna, á saber, *que jamas los elementos materiales pueden unirse ó separarse químicamente sin que haya desprendimiento de electricidad.*

Nos limitaremos por lo tanto á demostrar como se hace sensible la electricidad que separa por la combustion, por la accion de los ácidos sobre los metales, ó sobre las bases, por la reaccion de las disoluciones las unas sobre las otras y por algunas descomposiciones químicas.

Algunos fisicos habian pensado desde mucho tiempo que la combustion debe dar electricidad, pero este resultado importante no habia sido comprobado antes de la publicacion de mi *memoria sobre el origen de la electricidad atmosférica.* (*Annal de fisic., y de Quim. t. 35, pág. 401*): daré solo una idea sumaria de los procedimientos y de los hechos contenidos en este trabajo.

En la combustion del carbon el ácido carbónico está electrizado positivamente, y el carbon negativamente. Para recoger la electricidad negativa se coje un carbon conductor cortado en cilindro con bases bien paralelas: se inflama una de estas bases y por la otra se coloca derecho encima una larga plancha que comunica con el condensador (*fig. 425*); entonces soplando por medio de una vejiga llena de aire ó de oxígeno se entretiene la combustion encima la base superior, y hallándose el platillo inferior del condensador en comunicacion con el suelo, bastan pocos instantes para cargar el aparato.

Para recoger la electricidad positiva se dispone el carbon verticalmente encima una plancha metálica que comunique con el suelo (*figura 426*), se mantiene en combustion como en el experimento precedente, y se presenta á alguna distancia debajo de la plancha de laton, poniéndose el otro platillo del condensador en comunicacion con el suelo, el aparato queda prontamente cargado por la electricidad vitrea que el ácido carbónico cede á la plancha á medida que se eleva contra su superficie.

En la combustion del hidrógeno el oxígeno se electriza tambien positivamente y el hidrógeno negativamente. Para recoger la electricidad negativa se adapta á la vejiga que contiene el hidrógeno un tubo de metal que se hace comunicar con el condensador en cuyo estremo se inflama el gas; se puede tambien adaptar en el platillo del condensador un largo hilo de platina cual estremidad está vuelta en espiral estre-



cha y hacer sumergir con cuidado en el *interior* de la llama la totalidad de la espiral (*fig. 427.*)

Para recoger la electricidad positiva del oxígeno basta presentar la espiral precedente á alguna distancia de la llama (*fig. 428*), ó darle un diámetro mayor que el de la misma llama de modo que la pueda envolver; en este caso toma la electricidad positiva, aun á la distancia de algunos milímetros: Segun esto se comprende porque los resultados han de ser variables é inciertos cuando la espiral se halla en parte en la llama y en parte fuera de ella.

Haciendo germinar plantas en capsulas aisladas, y en medio de una atmósfera suficientemente seca, me ha sido posible recoger tambien las electricidades que se desarrollan en el acto de la vegetacion.

Estos esperimentos y otros análogos conducen al siguiente principio general: *Siempre que el oxígeno se combina con otro cuerpo hay desprendimiento de electricidad; el oxígeno da siempre electricidad positiva, y el cuerpo combustible electricidad negativa.*

No debemos estrañar, despues de esto, que en todas las descomposiciones químicas que se efectuan por medio de la pila, el oxígeno se vaya al polo positivo, y los cuerpos combustibles al polo negativo; porque es menester sin duda que para separarse, y restituirse á su estado libre, estos elementos reciban precisamente la misma cantidad del mismo fluido que han desarrollado en el acto de su combustion.

Cuando los ácidos obran sobre los metales se producen en general dos fenómenos, el primero es la oxidacion del metal, lo que es una combustion; y el segundo que sucede ordinariamente al primero, es la combinacion del óxido con el ácido, que es tambien análogo á la combustion, en que el ácido juega siempre el mismo papel que el oxígeno, mientras el óxido juega el mismo que el cuerpo combustible; debemos pues esperar una separacion de electricidad mas ó menos considerable mientras que estos fenómenos se verifican.

Muchos físicos, entre los que se debe citar particularmente MM. Avogrado, De la Rive y Novili, han llegado á la verdad á descubrimientos importantes acerca este objeto: pero estas indagaciones se refieren demasiado á la química para que sea al caso esponerlas detalladamente; solo debemos limitarnos á las consecuencias mas generales de sus resultados.

Cuando se introducen los dos estremos del multiplicador en un ácido que ataque el cobre, se ve que al instante la aguja se agita, y acusa la presencia de una corriente muy enérgica; esta corriente muda de



direccion de un instante á otro, y el medio mas eficaz para imprimirle una direccion constante parece ser este, tener el uno de los hilos en reposo en el ácido, al paso que el otro está vivamente agitado: este efecto resulta de la desigual accion química que el ácido ejerce contra los dos hilos.

Para sugetar otro metal á la misma prueba, basta tomar dos pedazos de él unidos cada uno en el extremo de uno de los hilos del multiplicador y tomar las precauciones convenientes para que no haya desigualdad de temperatura en las dos uniones del metal con el multiplicador; entonces sumergidos los dos pedazos en el ácido se observan las corrientes que resultan del conjunto de acciones químicas que se ejercen entre el metal y el ácido.

Asi poniendo simplemente enroscados dos hilos de oro puro al rededor de los dos extremos del multiplicador, y sumergidos despues en el agua régia, se obtiene una corriente muy sensible: esta corriente puede aun hacerse mas enérgica introduciendo los hilos de oro en el ácido nítrico á una distancia suficiente el uno del otro, y derramando algunas gotas de ácido hidróclorico al rededor de uno de los hilos solamente: en este caso, en efecto, la accion química es muy desigual; porque en el primer instante es viva en uno de los hilos y nula en el otro.

Para observar las corrientes que resultan de la accion de un ácido sobre un alcali, M. Becquerel pone el ácido en una cuchara de platina, y toma con una pinsa de platina el pedazo de sosa ó de potasa que quiere sugetar á la prueba; entonces poniendo la pinsa ó la cuchara en comunicacion con los extremos del multiplicador se introduce el alcali en el ácido para completar el circuito.

En todas las acciones de esta naturaleza, las que pueden variarse al infinito se observa constantemente que el elemento ácido separa electricidad positiva y el elemento basico la electricidad negativa.

Cuando en una disolucion salina un elemento cede su lugar á otro se observan siempre efectos eléctricos análogos á los precedentes: asi cuando en una disolucion de sulfato de cobre se sumergen á alguna distancia la una de la otra dos láminas unidas á los dos extremos del multiplicador, la una de zinc, y la otra de cobre se observa una corriente muy enérgica, y se ve que al mismo tiempo el zinc pasa al estado de sulfato de zinc para tomar el lugar del cobre, y este se revivifica sobre la lámina de cobre.

Se da aun mayor intensidad á la corriente disponiendo el esperimento



del modo que sigue, como lo ha hecho M. Becquerel, quien es el primero que ha analizado todos estos fenómenos quimicos con tanta felicidad como perseverancia (*Annal de quim. y de fisic.*, t. 41, pág. 1.) Se dispone en un vaso de vidrio ó de porcelana una separacion con un pedazo de vejiga; en un lado se pone una disolucion de sulfato de zinc en una lámina de zinc, y en el otro una disolucion de sulfato de cobre, y una lámina de cobre; la reaccion es á poca diferencia nula mientras no hay entrè estos líquidos otra comunicacion que la que se establece por la separacion; pero al instante que las láminas de zinc y de cobre están unidas entre sí por un metal cualquiera, por ejemplo, por el hilo de un multiplicador, el zinc es vivamente atacado, mientras que el cobre del sulfato de cobre es revivificado sobre la misma lámina de cobre: se produce al mismo tiempo una corriente muy enérgica la que queda constante si se tiene cuidado de añadir sulfato de cobre sólido para mantener la disolucion en el mismo punto de saturacion.

Bajo este principio se ha construido una pila no menos notable por su poder que por la constancia de sus efectos: el uno de los elementos de esta pila está representado en la figura 466; se compone de un cilindro hueco de cobre rojo muy delgado *a* lustrado con arena *b* y cerrado por todas partes: el fondo inferior *c* es llano, y el fondo superior *d* es cónico: encima de este se eleva un reborde *e* taladrado de muchos agujeros *f*: este cilindro se introduce en una vejiga *g*, la que se liga al rededor del borde *e*; pero encima de los agujeros *f*. Se echa encima el cono *d* una disolucion saturada de sulfato de cobre, la que pasa por los agujeros y viene á llenar todo el espacio comprendido entre la vejiga y el cilindro: en seguida se ponen en el mismo cono fragmentos de sulfato de cobre, los que se renuevan á medida que se disuelven en el líquido que debe siempre bañarles un poco; un manguito de zinc *h* el que está hendido segun su longitud para ensancharlo á voluntad se sumerge en una disolucion de sulfato de zinc, ó de cloruro de sodio sostenido en un vaso *i* de vidrio, ó de barro; se pone el cilindro de cobre dentro el manguito de zinc, y las dos planchas de cobre *p* y *n* soldadas la una al cilindro y la otra al manguito representan los dos polos del elemento; desde el instante que se establece en ellas una comunicacion metálica se obtiene una corriente de una grande intensidad.

Una pila de seis de estos elementos por ejemplo, puede enrogecer un hilo de platina de 12 ó 15 centímetros de longitud, y de mas de  $\frac{1}{16}$  de milímetro de diámetro, puede obrar durante cinco ó seis



horas con una intensidad constante; lo que la impide de obrar por mas tiempo, es el cobre revivificado que adhiere en el cilindro y que acaba por llenar la vejiga.

Para distinguir las pilas de esta especie las llamaremos pilas encerradas, y se concibe la posibilidad de formarlas semejantes con la mayor parte de metales puestos en contacto con sus disoluciones.

Este seria el lugar de examinar la cuestion del desarrollo de la electricidad por simple contacto conforme á la teoria de Volta que hemos adoptado (nos. 220 y siguientes.) Esta cuestion ha sido vivamente controvertida en estos últimos tiempos: algunos físicos han atacado la teoría de Volta por medio de una série de esperimentos bastante interesantes: M. Augusto de la Rive, de Ginebra, se ha particularmente distinguido en esta controversia, demostrando de un modo riguroso que en un grande número de casos, la electricidad que se habia atribuido al contacto es realmente debida á acciones químicas del todo evidentes; por otra parte M. Pfaff ha sostenido la antigua teoria con mucha sagacidad. Sin entrar aqui en esta discusion, que nos llevaria demasiado lejos en el dominio de la química, haremos notar que los fenómenos termo-eléctricos no pueden de modo alguno referirse á acciones químicas, y bastan para demostrar que en el contacto de cuerpos heterogéneos pueden alomenos desarrollarse, por medio del calor efectos eléctricos de una grande intensidad. Este solo motivo nos ha decidido á conservar aun la teoría de Volta en la esposicion de los primeros esperimentos galvánicos; pero es imposible dudar en la actualidad que en todas las pilas hidro-eléctricas de que se ha hablado, si la accion química no es la causa esclusiva del desarrollo de la electricidad, no sea alomenos la causa mas eficaz, y en mucho la mas predominante. Asi en la pila encerrada que se acaba de describir si el contacto concurre al desarrollo de electricidad, no concurre á la verdad sino en una parte infinitamente pequeña de la cantidad total de electricidad que se pone en circulacion, como se verá en uno de los capítulos que siguen, en donde indicaremos los medios de comparar entre sí las cantidades de electricidad que constituyen las corrientes.

Los fenómenos eléctricos que se desarrollan en las descomposiciones químicas son precisamente inversos de los que se despliegan en el acto de la composicion ó de la combinacion de los elementos. Este resultado general ha sido establecido en mi segunda *Memoria sobre el origen de la electricidad atmosférica* (*Annales de química y física* t. 36, p. 1). Despues de haber demostrado que las mutaciones



de estado de los cuerpos no dan jamás ninguna señal eléctrica, hago ver que la electricidad parece al instante que hay en una disolución algunos elementos químicos que se separan. Mi aparato es el condensador representado en la figura 495: solo á la placa de laton se puede substituir una varilla terminada por un anillo; encima la placa ó en el anillo de la varilla se dispone un crisol de platina elevado antes á una temperatura mas ó menos alta desde 40 á 50 grados hasta al rojo ó al blanco, y en este crisol se hechan algunas gotas de las disoluciones que se quieren sujetar á la esperiencia: los elementos volátiles se separan, hay segregacion química y desarrollo de electricidad; la carga del condensador es algunas veces tan grande que se observa sin hacerle comunicar con el suelo, y las láminas de oro son arrojadas contra las paredes de la campana casi al instante que el líquido cae en el crisol.

En las soluciones alcalinas el vapor de agua tiene la electricidad negativa, y el alcalí la electricidad positiva.

En las soluciones ácidas al contrario, es el agua que es positiva y la solucion restante es negativa.

Operando bajo otros procedimientos, M. Becquerel ha comprobado que en las dobles composiciones no hay señales eléctricas (t. 2 p. 81): en efecto si la descomposicion tiende á separar una cierta cantidad de fluido, la recomposicion tiende á separar una igual cantidad de fluido contrario; asi echando una disolucion de nitrato de barita en una disolucion de sulfato de potasa, ni la disolucion del nitrato de potasa ni el precipitado de sulfato de barita no deben ser electrizadas.

#### *Acciones fisiológicas y peces eléctricos.*

271. Para completar el exámen de las diferentes causas que pueden desarrollar electricidad aun falta hablar de los peces eléctricos y de los extraordinarios fenómenos que representan.

Se sabe desde mucho tiempo que la raya (*torpedo*) tiene la propiedad de entorpecer la mano que la toca; algunas veces la conmocion es bastante violenta para determinar en toda la longitud del brazo una parálisis dolorosa que dura muchos minutos, la que puede ser comparada á lo que se experimenta á veces por un golpe en el lado. Para esplicar estos efectos se decia en otro tiempo que la raya arroja moléculas que entorpecen, ó que obra como un resorte que se suelta, ó como un cuerpo sonoro que se halla en vibracion rápida (*Reaumur*,



*Academia de ciencias*, 1714). Pero cuando Muschenbroeck sintió por primera vez los efectos de la botella de Leyden tuvo la feliz idea de comparar esta conmocion á la de la tremielga y atribuir asi á la misma causa fenómenos cuyo origen parecia tan diferente; desde entonces fué que la tremielga y otros peces análogos que se llamaban en general *tembladeras*, se designaron con justo titulo con el nombre de peces eléctricos; en el dia se cuentan siete que pertenecen á géneros diferentes: *Torpedo narke risso*, *T. unimaculata*, *T. marmorata*, *T. galvanii*, *Silurus electricus*, *Tetraodron electricus*, *Gymnotus electricus*.

Cual sea el origen de la prodigiosa cantidad de electricidad que pueden dar estos peces? Esta es una cuestion de grande interés, que por desgracia parece haber sido despreciada por los mas hábiles observadores; con todo estamos inclinados á admitir que esta electricidad es el resultado de una *accion fisiológica particular*; porque en el conjunto de hechos conocidos nada hallamos que autorice para pensar que sea producida por acciones mecánicas ó por el calor ó por acciones químicas análogas á las que acabamos de examinar; supuesto que nos hallamos en la imposibilidad de establecer esta opinion sobre bases ciertas, por faltarnos esperimentos directos, no emprenderemos aqui ninguna discusion acerca este objeto, y nos contentaremos en resumir los principales fenómenos que han sido observados en la tembladera y el gymnoto.

272. *Propiedades de la tembladera.* Debemos á Walsh las primeras indagaciones algo precisivas sobre los efectos de la tembladera; sus esperimentos fueron hechos en la Rochele en 1772 y en la isla de Ré (*Jornal de fisica* t. iv, p. 205); deduce las consecuencias que siguen:

Cuando la tembladera está en el aire, se recibe la conmocion tocando directamente una parte cualquiera de su piel, sea con un solo dedo, sea por toda la longitud de la mano.

Se reciben tambien las conmociones cuando se la toca con un buen conductor; por ejemplo, con una barilla de metal de muchos pies de longitud.

La conmocion falta cuando se la toca con todos los malos conductores; asi se puede tocar impunemente la raya con vidrio, resina etc.

Puédese tambien tocar sin daño con una pequeña cinta de estaño encolada sobre vidrio, con tal que se halle en el estaño una solucion de continuidad tan pequeña como se pueda hacer con la punta de un corta plumas.



Cuando muchas personas *no aisladas* están asidas por las manos, y la primera, sola, toca con la mano la tembladera, la conmocion se hace sentir por la segunda y tambien por la tercera, pero disminuye de intensidad.

La conmocion se hace sentir en un círculo de veinte personas no aisladas que se tengan por la mano cuando la primera toca la tremielga en el vientre mientras la última la toque por el dorso, ó *vice versa*.

Aqui están los principales resultados que se obtienen en el aire; el último experimento saldria bien, puede ser, tocando dos puntos cualesquiera que no sean opuestos como parece exigirlo Walsh, sin duda con motivo de la analogía que intenta establecer entre las botellas de Leyden y la tembladera. En el agua las conmociones tienen siempre menos intensidad que en el aire, pero se producen aun del mismo modo, y bajo las mismas condiciones. Siendo el agua un tanto buen conductor, se concibe que una tembladera viva y enérgica puede obrar á distancia, y que entonces no sea necesario el tocarla directamente. Walsh ha observado en efecto que hiere á distancia pequeños peces, ó á lo menos que les entorpece como si les emborrachase.

En todos los casos la conmocion con que hiere la tembladera es para ella un fenómeno voluntario; sucede á menudo que se la toca muchas veces sin efecto alguno, pero cuando se la irrita pelliscándola las aletas, se está casi seguro de recibir golpes redoblados. Walsh ha contado hasta cincuenta descargas en un minuto.

MM. Becquerel y Breschet han hecho muchas observaciones y muy importantes acerca las tremielgas de Chioggia cerca de Venecia (*Becquerel, t. 4, p. 364*): han confirmado, por ejemplo, con un buen galvanómetro que la corriente va siempre del dorso al vientre pasando por el galvanómetro; han tambien verificado de nuevo que la tembladera puede á voluntad hacer pasar la descarga por tales ó tales puntos de sus superficies superiores é inferiores.

M. Matteucci quien ha hecho posteriormente tambien experimentos muy curiosos sobre la tremielga del Adriático ha hallado el medio de hacer perfectamente sensible la chispa: á este fin aplica dos armaduras metálicas, la una encima el dorso y la otra sobre el vientre de la tembladera: despues dispone al mismo tiempo dos hojas de oro muy inmediatas la una á la otra, de las que cada una está puesta en comunicacion con la una de las armaduras: entonces así que se irrita la tremielga se vé brillar la chispa entre las dos hojas de oro.

M. Matteucci ha confirmado tambien la observacion importante de



MM. Becquerel y Breschet sobre el sentido de la corriente; ha comprobado por su parte que el dorso es positivo y el vientre negativo.

Sentimos no poder dar mas amplias descripciones acerca estas diferentes indagaciones, las que ilustrarán sin duda mucho acerca las propiedades eléctricas y fisiológicas de la tembladera.

273. *Propiedades del gymnoto.* — El *gymnoto* eléctrico, al que se llama tambien *anguila de Surinam*, está dotado de un poder eléctrico aun mucho mayor que el de la tembladera. Walsh hizo venir de Surinam *gymnotos* y confirmó los resultados que habia obtenido de la tremielga algunos años antes: pero ademas hizo esta curiosa observacion, á saber, que la conmocion del *gymnoto* puede trasmitirse de un conductor á otro al través de una pequeña lámina de aire, y que entonces se vé brillar una chispa eléctrica (Journal. de Phisic. t. VIII, p. 305).

M. de Humbolt hizo en América con M. Bonpland, un gran número de esperimentos acerca el *gymnoto*. Aquí está lo que refiere en su obra acerca las habitudes de este pescado singular y de los medios de pescarle.

« Partimos el 9 de marzo muy de mañana para la pequeña poblacion de *Rastro de abajo*: de aqui los indios nos condujeron á un pequeño rio, el que en los tiempos de sequedad forma un estanque de agua cenagosa rodeado de hermosos árboles, de clusia, de amyris, y de mimosas de flores olorosas. La pesca de los *gymnotos* con redes es muy difícil por motivo de la extrema agilidad de estos peces los que se hunden en el lodo como las serpientes. No se quiso emplear el *barbasco*, es decir las raices del *pis cidia erithryna*, la *jaquina armillaris*, y de algunas especies de *phillanthus*, las que echadas en un charco, emborrachan y entorpecen los animales; este medio habria debilitado los *gymnotos*. Los indios nos dijeron que ellos iban á *pescar con caballos*. Nos costó hacernos una idea de este extraordinario modo de pescar; pero luego vimos á nuestros guías volver de la sabana en donde habian hecho una batida de caballos y mulos no domados; condujeron como treinta á los que se obligó á entrar en el charco.

« El ruido extraordinario ocasionado por el pataleo de los caballos hace salir los peces del fango y les escita al combate. Estas anguilas amarillentas y lividas parecidas á grandes serpientes acuáticas nadan en la superficie del agua y se agarran al vientre de los caballos y mulos: una lucha entre animales de una organizacion tan diferente ofre-



ce el espectáculo mas pintoresco. Los indios armados de arpones y de cañas largas y delgadas ciñen estrechamente el charco; algunos de ellos suben á los árboles cuyas ramas se estienden horizontalmente encima la superficie del agua: por sus gritos salvages y sus largos juncos impiden á los caballos el salir del charco. Las anguilas azoradas por el ruido se defienden por medio de la descarga reiterada de sus baterias eléctricas; durante largo tiempo parece que van á ganar la victoria. Muchos caballos sucumben á la violencia de golpes invisibles que reciben por todas partes en los órganos mas esenciales á la vida: entorpecidos por la fuerza y la frecuencia de las conmociones desaparecen bajo del agua, otros jadeando, con las clines herizadas, los ojos esquivos, y esprimiendo la angustia, se levantan y buscan como huir de la tempestad que les sorprende. Son repelidos por los indios en medio del agua. Con todo un pequeño número llega á engañar la activa vigilancia de los pescadores, se les vé ganar la ribera, tropezar á cada paso, tenderse en la arena llenos de fatiga, y entorpecidos los miembros por las conmociones eléctricas de los gymnotos.

«En menos de cinco minutos dos caballos estaban ahogados. La anguila que tiene cinco pies de largo cogiéndose contra el vientre de los caballos, hace una descarga en toda la estension de su órgano eléctrico: ataca á la vez el corazon, las entrañas y el *plexus coeliacus* de los nervios abdominales. Es natural que el efecto que experimentan los caballos sea mas poderoso que el que el mismo pez produce sobre el hombre cuando no le toca sino por una de sus estremidades. Los caballos no son probablemente muertos sino simplemente entorpecidos. Se ahogan, por motivo de la imposibilidad en que se hallan de levantarse para la lucha prolongada entre los otros caballos y los gymnotos.

«Nosotros no dudábamos de que la lucha se terminaria por la muerte sucesiva de los animales que se habian empleado. Pero poco á poco disminuye la impetuosidad de este combate desigual; los gymnotos fatigados se dispersan; tienen necesidad de un largo reposo y de una nutricion abundante para reparar lo que han perdido de fuerza galvánica: los mulos y los caballos parecieron menos espantados, no herizaban mas la clin, sus ojos espresaban menor miedo; los gymnotos se aproximaban con timidez á la ribera en donde se les cogió por medio de pequeños harpones atados á largas cuerdas. Cuando las cuerdas están bien secas, los indios, levantando el pescado en el aire no sienten conmociones. En pocos minutos tuvimos cinco grandes anguilas,